

**Máster Universitario en
Geotecnologías Cartográficas en
Ingeniería y Arquitectura**

TRABAJO FIN DE MASTER

**Aplicación web para la determinación de la
contaminación acústica en las vías de comunicación**

Alumno: Jaime Sanandrés Vega

Septiembre 2020



Índice

1.	INTRODUCCIÓN	15
1.1.	RESUMEN	15
1.2.	OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4.	ESTRUCTURA DEL TFM.	17
2.	MARCO TEÓRICO	19
2.1.	Sonido. Onda y Presión Sonora. Conceptos básicos	19
2.2.	Ruido. Caracterización.....	22
2.3.	Cuantificación de la presión sonora	23
2.4.	Indicadores de ruido	25
2.5.	Umbrales máximos permitidos de nivel de ruido ambiental	30
2.6.	Medidas correctoras a aplicar en el medio de propagación.....	30
3.	ANÁLISIS NORMATIVO	32
3.1.	Normativa Europea de ámbito general en cuanto a Calidad del ambiente acústico y su protección.	32
3.2.	Normas estatales con rango de Ley.	33
3.3.	Normas autonómicas más relevantes y con rango de ley publicadas en el BOE.	34
3.4.	Normativa de carácter local	35
4.	PROCESO DE TRABAJO.	36
4.1.	Búsqueda, obtención, organización e integración en una BBDD gráfica de los datos iniciales.....	44
4.1.1.	Datos sobre las infraestructuras viarias.	46
4.1.2.	Datos sobre el tránsito de vehículos	47
4.1.3.	Datos sobre las emisiones de ruidos en carreteras	52
a)	Obtenidos a partir del Sistema de Información sobre contaminación Acústica (SICA) (Infraestructuras existentes)	53
b)	No hay datos sobre emisiones de ruidos. (Infraestructuras de nueva ejecución)	54
4.1.4.	Datos sobre topografía del terreno.....	55
4.1.5.	Datos sobre usos del suelo.....	56
4.1.6.	Datos sobre cobertura del suelo	56
4.1.7.	Datos sobre cartografía catastral	57
4.1.8.	Datos sobre unidades administrativas	58



4.2.	Consideraciones previas.....	61
4.3.	Zonificación acústica	64
4.4.	Creación Mapa Base, Mapa 2D y Escena 3D	73
4.4.1.	Creación de mapa base	73
4.4.2.	Creación de mapa 2D y escena 3D	81
4.5.	Publicación de mapa 2D	90
4.6.	Publicación de escena 3D	92
4.7.	Creación de app 2D	94
4.8.	Creación de app 3D	102
5.	RESULTADOS	108
5.1.	Acceso Tribunal evaluador a aplicaciones.....	123
6.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO	124
7.	BIBLIOGRAFÍA	128
Apéndice I.	Barreras acústicas. Tipos	129
Apéndice II.	Pantallas acústicas. Tipos	133
Apéndice III.	Diseño de una pantalla acústica.....	138
Apéndice IV.	Herramienta. Comprobación previa.....	140
	• Etapa 1: “Cálculo del eje de la zona de influencia”	141
	• Etapa 2: “Relación entre las tablas de caracterización de zonas acústicas”	142
	• Etapa 3: “Cálculo de isófona inicial de 55 dB”	143
	• Etapa 4: “Intersecta el área residencial caracterizada con las isófonas”	144
Apéndice V.	Herramienta. Cálculos 2D.....	147
	• Etapa 1: “Cálculo del eje de la zona de influencia”	148
	• Etapa 2: “Cálculo de isófonas iniciales 2D y 3D”	149
	• Etapa 3: “Cálculo situación de pantalla acústica”	153
	• Etapa 4: “Extrusión de edificios”	157
	• Etapa 5: “Resultados finales. Isófonas Iniciales y Finales”	158
Apéndice VI.	Herramienta. Nivel sonoro edificios inicio	159
Apéndice VII.	Herramienta. Nivel sonoro edificios final.....	162
Apéndice VIII.	Herramienta. Pantalla Acústica 3D	164
Apéndice IX.	Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Inicial.....	166
Apéndice X.	Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Atenuado	169
Apéndice XI.	Herramienta. Envolvente Edificios 3D.....	170
Apéndice XII.	Herramienta. Isófonas Finales 3D	175
Apéndice XIII.	Herramienta. Aplicación de simbología	176



Apéndice XIV.	Herramienta. Aplicación de simbología Edificios Nivel Sonoro Atenuado y Soportado	177
Apéndice XV.	Método Simple de la Guide Du Bruit	181

Índice de figuras

Figura 1. Partes de una onda. Fuente: arablog.co	20
Figura 2. Presión e Intensidad sonora	21
Figura 3. Tipos de ruido. Fuente riunet.upv.net	22
Figura 4. Presiones sonoras producidas por varios sonidos. Fuente: www.solerpalau.com.....	23
Figura 5. Comportamiento de una onda sonora frente a un obstáculo. Fuente: www.sicaweb.cedex.es	25
Figura 6. Niveles sonoros máximos y mínimos. Fuente: www.sicaweb.cedex.es.....	27
Figura 7. Nivel sonoro continuo equivalente y niveles estadísticos. Fuente: www.sicaweb.cedex.es	28
Figura 8. Nivel sonoro continuo equivalente y nivel de exposición sonora. Fuente: www.sicaweb.cedex.es	29
Figura 9. Plano de Situación Autovía A-601. Fuente: Mapas Estratégicos de Ruido	36
Figura 10. Autovía A-601 a su paso por el T.M. de Tudela de Duero. Fuente: www.ideo.es	37
Figura 11. Proceso de Obtención de MER a partir de datos de aforos de tráfico.....	38
Figura 12. Aplicaciones disponibles en entorno ArcGIS. Fuente; www.esri.es.....	40
Figura 13. Estructura básica software ArcGIS PRO. Fuente: Elaboración propia	41
Figura 14. Pantalla de Inicio de ArcGIS Online: Fuente: https://www.arcgis.com/	41
Figura 15. Esquema de ArcGIS Online. Fuente: (ESRI, 2020)	42
Figura 16. Fases de Proceso de Trabajo. Fuente: Elaboración propia	42
Figura 17. Fases de cálculo o hitos realizar en la herramienta de geoprocetamiento	45
Figura 18. Página de descarga de Datos de Infraestructuras de Transporte. http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE#	47
Figura 19. Obtención de datos relativos a aforos de tráfico	48
Figura 20. Instalación de Bucle de Inducción Magnética para el aforo de tráfico. Fuente www.navarra.es	48
Figura 21. Dispositivo de aforo de tráfico. Tubo Neumático. Fuente: www.bolgsport.com	49
Figura 22. Radar móvil instalado en vehículo. Fuente: www.autopista.es.....	49
Figura 23. Obtención de datos relativos a emisión de ruidos.....	54
Figura 24. Obtención de datos relativos topografía del terreno	55
Figura 25. Obtención de datos relativos a categorías y usos del suelo	56
Figura 26. Obtención de datos relativos a coberturas y usos del suelo.....	57
Figura 27. Obtención de datos relativos a la información catastral	58
Figura 28. Obtención de datos relativos a la información catastral	59
Figura 29. Estructura de la BBDD gráfica definida en ArcGIS PRO para el TFM	61

Figura 30. Vista Mapa Estratégico de Ruido para Ctra. A-601 a su paso por el TTMM de Tudela de Duero.....	62
Figura 31. Comparación del Mapa Estratégico de Ruido de la A-601 y Mapa Estratégico de Ruido Teórico A-601.....	63
Figura 32. Creación de un mapa base	74
Figura 33. Mapa base generado con los datos iniciales.....	74
Figura 34. Cuadro de dialogo para la creación / edición de Metadatos	75
Figura 35. Datos sobre cobertura de suelo con simbología aplicada	75
Figura 36. Datos sobre límites administrativos.....	76
Figura 37. Datos sobre Red Viaria en la zona de interés.....	76
Figura 38. Datos correspondientes al Catastro de la zona de interés.....	77
Figura 39. Mapa Estratégico de Ruido correspondiente a la A-601 en el TTMM de Tudela de Duero.....	77
Figura 40. Metadatos incorporados a las capas de entidades que contienen los datos iniciales	78
Figura 41. Orden de Visualización establecido en el mapa base	78
Figura 42. Cajas de Herramientas de ArcGIS PRO.....	79
Figura 43. Orden de ejecución de modelos creados.....	80
Figura 44. Proceso de creación de mapa	81
Figura 45. Cuadro de dialogo “Propiedades” donde se establecen los rangos de visibilidad de las capas de entidades	81
Figura 46. Conversión de mapa base a mapa	82
Figura 47. Proceso de creación de Escena 3D.....	84
Figura 48. Conversión de mapa a escena 3D	84
Figura 49. Deshabilitar Ventanas Emergentes	86
Figura 50. Configuración de elementos emergentes	87
Figura 51. Configuración de elementos emergentes. Opciones.....	87
Figura 52. Configuración de elementos emergentes. Resultado visible	87
Figura 53. Configuración de elementos emergentes. Capa “Edificios_nivel_sonoro_atenuado”	88
Figura 54. Configuración de elementos emergentes. Capa “Edificios_nivel_sonoro_inicial”	88
Figura 55. Configuración de elementos emergentes. Capa “Red Viaria Líneas”	88
Figura 56. Configuración de elementos emergentes. Capa “Isófonas Polígono Final Laye”	89
Figura 57. Metadatos de las capas de resultados obtenidas	89
Figura 58. Compartir mapa	91

Figura 59. Opciones “Compartir como mapa web”	91
Figura 60. Análisis previo al uso compartido del mapa base	91
Figura 61. Proceso de publicación desde aplicación cliente a ArcGIS Online	92
Figura 62. Opción "Compartir Escena Web"	92
Figura 63. Compartir como escena web	93
Figura 64. Opciones de almacenamiento de capa web	93
Figura 65. Resultado de análisis previo a publicación de escena 3D	94
Figura 66. Proceso de publicación de escena 3D desde aplicación cliente a ArcGIS Online.....	94
Figura 67. Herramienta Web App Builder dentro de ArcGIS Online.....	95
Figura 68. Proceso de creación de una Aplicación 2D en Web App Builder	95
Figura 69. Elección de tipo de aplicación en Web App Builder.....	95
Figura 70. Selección de tema en aplicación 2D.....	96
Figura 71. Selección de mapa en aplicación 2D	96
Figura 72. Tipos de Widget preconfigurados disponibles en Web App Builder.....	97
Figura 73. Definición de filtro en widget “Consulta”	98
Figura 74. Tipos de consultas generadas en el widget “Consulta”	99
Figura 75. Configuración de widget “Gráfico”	99
Figura 76. Configuración widget “Geoprocesamiento”	100
Figura 77. Publicación de “Herramientas Web”	100
Figura 78. Configuración de widget “Galería de Mapa Base”	101
Figura 79. Configuración de atributos.....	101
Figura 80. Previsualización de aplicación 2D en dispositivo móvil	102
Figura 81. Proceso de creación de una Aplicación 3D en Web App Builder	102
Figura 82. Creación de App 3D. Elección “Tipo de aplicación”	103
Figura 83. Creación de App 3D. Selección de “Tema”	103
Figura 84. Creación de App 3D. Selección de “Escena 3D”	104
Figura 85. Creación de App 3D. Selección de “widgets”	105
Figura 86. Generación de diapositivas. Edición de “Web Scene”	105
Figura 87. Edición de “Escena Web”. Opciones del Diseñador	106
Figura 88. Edición de “Escena Web”. Captura de diapositivas	106
Figura 89. Edición de “Escena Web”. Diapositivas capturadas	107
Figura 90. Creación de App 3D. Configuración de “atributos”	107
Figura 91. Datos descargados para el desarrollo del TFM	108
Figura 92. Resultado obtenido de la aplicación de la herramienta “Comprobaciones Previas”	109

Figura 93. Resultado “Mapa de isófonas iniciales editado”	109
Figura 94. . Resultado “Mapa de isófonas iniciales teórico”	110
Figura 95. Mapa exposición de ruido en edificios previa instalación de una pantalla acústica	110
Figura 96. Resultados Cálculo de posible situación de pantalla acústica	111
Figura 97. Mapa exposición de ruido en edificios posterior a la instalación de una pantalla acústica.....	112
Figura 98. Resultado de “Mapas de isófonas finales”	112
Figura 99. Escena 3D creada en entorno local	113
Figura 100. Acceso a visualización a Mapa Web desde entorno de ArcGIS Online	113
Figura 101. Visualización de Mapa Web publicado en entorno ArcGIS Online	114
Figura 102. Acceso a visualización a Escena Web desde entorno de ArcGIS Online	114
Figura 103. Visualización de escena 3D publicada en entorno de ArcGIS Online.....	115
• Figura 104. Pantalla Inicio App 2D	115
Figura 105. Vista App 2D. Zona de interés	116
Figura 106. Vista App 2D. Isófonas iniciales.....	116
Figura 107. . Vista App 2D. Pantalla acústica	117
Figura 108. Vista App 2D. Isófonas finales	117
Figura 109. Vista App 2D. Nivel de ruido expuesto atenuado en edificios	117
Figura 110. Vista App 2D. Nivel de ruido expuesto soportado en edificios.....	118
Figura 111. Funcionamiento de widget "Consulta" para “Nivel sonoro soportado en edificios” en App 2D	118
Figura 112. Funcionamiento de widget "Consulta" para “Nivel sonoro atenuado en edificios” en App 2D.....	118
Figura 113. Funcionamiento de widget “Gráfico” para la obtención de proporción de nivel sonoro atenuado en edificios.....	119
Figura 114. Vista App 3D. Pantalla inicial.....	119
Figura 115 Vista App 3D. Resultado de comprobación de zonas afectadas por ruidos.....	120
Figura 116. Vista App 3D. Isófonas Iniciales.....	120
Figura 117. Vista App 3D. Pantalla acústica	120
Figura 118. Vista App 3D. Isófonas finales	121
Figura 119. Vista App 3D. Nivel Sonoro expuesto inicial en edificios	121
Figura 120. Vista App 3D. Nivel Sonoro expuesto final en edificios	121
Figura 121. Vista App 3D. Envoltente de edificios o zona de sombra de la pantalla acústica .	122
Figura 122. Vista App 3D. Una de las Isófonas finales	122
Figura 123. Vista App 3D. Elección de diapositivas preestablecidas.....	122

Figura 124. Mensaje de error en la publicación de herramientas en ArcGIS Online	125
Figura 125. Barrera acústica vegetal. Fuente: agrogreenspain.es	130
Figura 126. Barrera acústica mixta. Fuente: www.tierraarmada.com.....	130
Figura 127. Puente de túnel en autopista, Zhanxi, China. Fuente: palram.com.....	131
Figura 128. Revestimiento de muro con panel fonoabsorbente. Fuente: metalesa.com	131
Figura 129. Revestimiento de muro. Fuente: insametal.es	132
Figura 130. Panel de pantalla acústica tipo sándwich. Fuente: www.ugr.es.....	134
Figura 131. Pantalla acústica metálica reflectante. Fuente: metalesa.com	134
Figura 132. Pantalla acústica de hormigón. Fuente: insametal.es.....	135
Figura 133. Pantalla acústica de madera. Fuente: insametal.es.....	135
Figura 134. Pantalla acústica de vidrio. Fuente: postigo.es	136
Figura 135. Pantalla acústica de metacrilato. Fuente: metalesa.com	136
Figura 136. Pantalla acústica vegetal. Fuente: Google.es	137
Figura 137. Ladrillo fonoabsorbente. Fuente: Cerámicas Mazarrón	137
Figura 138. Pantalla acústica formada por elementos cerámicos. Fuente: www.teoriadeconstruccion.net	138
Figura 139. Partes de una pantalla acústica. Fuente: www.metalesa.com	139
Figura 140. Esquema general Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia	140
Figura 141. Herramienta Comprobación previa antes de su ejecución	141
Figura 142. Etapa 1 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia.	142
Figura 143. Etapa 2 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia.	143
Figura 144. Etapa 3 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia.	144
Figura 145. Etapa 4 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia.	145
Figura 146. Herramienta Comprobación Previa. Resultados. Fuente: Elaboración Propia	145
Figura 147. Herramienta “Comprobación previa” detallada. Fuente: Elaboración propia.....	146
Figura 148. Herramienta Cálculos 2D. Fuente: Elaboración propia	147
Figura 149. Herramienta Cálculos 2D. Antes de su ejecución.....	148
Figura 150. Etapa 1 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	149
Figura 151. Cálculo de Isófona 2D. Extracto de Etapa 2. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	150
Figura 152. Fusión de isófonas 2D. Extracto de Etapa 2. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	150
Figura 153. Cálculo de Isófona 3D. Extracto Etapa 2 Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	151

Figura 154. Etapa 2 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	152
Figura 155. Fase I de la Etapa 3. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	153
Figura 156. Fase II de la Etapa 3. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	154
Figura 157. Extracto para calcular Isófonas Finales correspondiente a la Etapa 3 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	155
Figura 158. Etapa 3 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	156
Figura 159. Etapa 4. Asignación de altura a edificios existentes en la zona de interés. Fuente: Elaboración propia	157
Figura 160. Etapa 5 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia	158
Figura 161. Herramienta Cálculos 2D. Resultados	158
Figura 162. Herramienta “Nivel sonoro edificios inicio”. Fuente: Elaboración propia	161
Figura 163. Herramienta “Nivel sonoro edificios final”. Fuente: Elaboración propia	163
Figura 164. Herramienta “Creación Pantalla Acústica 3D”. Fuente: Elaboración propia	164
Figura 165. Herramienta Creación edificios 3D. Nivel ruido inicial	166
Figura 166. Herramienta Creación edificios 3D. Nivel ruido atenuado	169
Figura 167. Protección acústica de una pantalla. Fuente: Jornada de ruido ambiental.	
Demarcación de Carreteras de la Comunidad Valenciana. Febrero 2.017	170
Figura 168. Herramienta Envolvente Edificios 3D. Fuente: Elaboración propia	171
Figura 169. Cálculos para la obtención del volumen de protección de la pantalla. Fuente: Elaboración propia	172
Figura 170. Captura “Zona de sombra 3D” calculada. Fuente: Elaboración propia	173
Figura 171. Herramienta “Envolvente Edificios 3D. Detallada. Fuente: Elaboración Propia	174
Figura 172. Herramienta Isófonas Finales 3D. Fuente: Elaboración propia	175
Figura 173. Herramienta Aplicación de simbología. Fuente: Elaboración propia	176
Figura 174. Escena final. Isófonas Iniciales	176
Figura 175. Escena final. Isófonas Finales	176
Figura 176. Herramienta Aplicación de simbología edificios nivel sonoro atenuado y soportado. Fuente: Elaboración propia	177
Figura 177. Escena final 3D. Propuesta Situación de pantalla	178
Figura 178. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 75 dB	178
Figura 179. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 70 dB	179
Figura 180. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 65 dB	179
Figura 181. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 60 dB	179
Figura 182. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 55 dB	180



Figura 183. Ábacos de difracción de una pantalla de longitud infinita del CSTB (Centre Scientifique el Techniques du Bâtiment)	182
Figura 184. Esquema de protección de pantalla acústica. Fuente: Elaboración propia	183



Índice de Tablas

Tabla 1. Datos sobre aforo de tráfico en Autovía A-601.....	51
Tabla 2. Correlación entre Usos del Suelo y Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007.....	65
Tabla 3. Correlación entre Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007 y Tipo de Área Acústica. Art. 8 Ley 5/2009, del Ruido de CyL.	65
Tabla 4. Valores Límite de niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas nuevas.	66
Tabla 5. Valores Límite de Niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas existentes.....	66
Tabla 6. Correlación de Usos del Suelo, Áreas Acústicas, Tipos de Áreas de sensibilidad Acústica y Valores Límite de niveles sonoros ambientales	68
Tabla 7. Correlación Usos del Suelo (Planificación Urbanística), Cobertura del Suelo (SIOSE) y Área Acústica.....	71
Tabla 8. Relación Coberturas de Suelo / Áreas acústicas / Áreas sensibilidad acústica / Límites inmisión ruido	73

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Velocidad de propagación	20
Ecuación 2. Intensidad acústica en fuentes puntuales	21
Ecuación 3. Intensidad acústica en fuentes lineales	21
Ecuación 4. Presión sonora L_0	23
Ecuación 5. Suma de presiones sonoras	24
Ecuación 6. Nivel de presión sonora fuente puntual en decibelios a una distancia r del origen	24
Ecuación 7. Nivel de presión sonora fuente lineal en decibelios a una distancia r del origen ...	25
Ecuación 8. Nivel de presión sonora continuo equivalente. $L_{Aeq}(T)$	27
Ecuación 9. Nivel de presión sonora continuo equivalente. $L_{Aeq}(T)$ discreto	27
Ecuación 10. Nivel de exposición sonora (SEL)	29
Ecuación 11. Relación entre L_{Aeq} y SEL	29
Ecuación 12. Indicador L_{den} propuesto por la UE. para la evaluación del ruido	30
Ecuación 13. Cálculo de energía de los segmentos laterales. Método simple de la Guide du Bruit.....	183
Ecuación 14. Cálculo de energía de la zona protegida por la pantalla.....	184
Ecuación 15. Nivel Sonoro de una pantalla de longitud finita	184



1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

El crecimiento de la actividad industrial en los países desarrollados, ha conllevado a que los niveles de tráfico de las carreteras, haya aumentado de forma exponencial, produciendo a su vez, un notable incremento de la contaminación ambiental en general y de la contaminación acústica en particular.

La contaminación acústica, provoca graves molestias y efectos sobre la salud de las personas, tanto en el ámbito fisiológico como en el psicológico, el comportamiento humano y de las propias actividades que realiza, por lo que la forma más generalizada de protegerse contra la contaminación acústica o ruido ambiental es aislarse físicamente de la fuente emisora.

Muchas veces no resulta viable ese aislamiento físico, ya que es necesario la realización de actividades de distinta índole en un ambiente exterior, por lo que las medidas correctoras encaminadas a la reducción a la exposición al ruido consisten en una reducción del ruido en la propia fuente emisora, aislamiento acústico de edificios, de infraestructuras, planificación urbana, etc.

En el ámbito de las infraestructuras de transporte por carretera, el ruido provocado por el tránsito de los vehículos, es en la actualidad uno de los grandes problemas que afectan a la vida cotidiana de las personas, por lo que la elección y aplicación de medidas correctoras están orientadas a la reducción del mismo en el origen, en el medio de propagación, y en el receptor y además pudiendo variar en función de las características de la propia vía, de la topografía o de las zonas afectadas. Las medidas a adoptar para la consecución de la reducción del ruido se pueden adoptar en:

- Fuente emisora: optimizando el diseño del trazado de la vía en relación al entorno, la elección de un tipo de pavimento o revestimiento silencioso, la fijación de los niveles máximos de emisión sonora de los vehículos, etc.
- Medio de propagación: mediante la colocación de pantallas acústicas (naturales, artificiales o mixtas), las cuales son una muy buena solución para la reducción del ruido.
- En el receptor: Limitando los usos del suelo en el entorno de las carreteras, arquitectura urbana, o el aislamiento de las fachadas de los edificios.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Mediante el desarrollo del presente Trabajo Fin de Máster (TFM), se pretende realizar una aplicación web que ayude a la toma de decisiones sobre la determinación de los emplazamientos más adecuados, en relación a la colocación de pantallas acústicas en carreteras, a fin de atenuar los niveles de emisión de ruido en áreas residenciales y dar cumplimiento a la normativa en vigor al respecto, de forma que, se obtengan y representen las curvas isófonas resultantes teniendo en cuenta la influencia generada por la colocación de un pantalla acústica.

Además, y como valor añadido al anterior se establece un objetivo adicional consistente en generar una aplicación 3D que contiene la escena en 3D sobre los resultados obtenidos, así como una escena en la que se puedan realizar consultas sobre los niveles de inmisión acústica soportados por los edificios afectados del área de interés.

El desarrollo de la aplicación se realizará en entorno ArcGIS de ESRI.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentro de un ámbito más detallado, y de forma previa se añaden los siguientes hitos intermedios, sin los cuales no será posible el alcance de los objetivos generales descritos.

- Buscar y localizar la información necesaria para la consecución del objetivo general marcado
- Comprobar y visualizar de forma previa la posible existencia de zonas de uso residencial en las que haya edificios afectados por ruidos emitidos por una vía de comunicación
- Generar y representar mapas estratégicos de ruido (MER) de una vía de comunicación que permitan la visualización del área con un nivel de ruido determinado.
- Realizar y visualizar mapas sobre la exposición de ruido en edificios previa instalación de una pantalla acústica que permitan la visualización del nivel de ruido expuesto

- Componer y plasmar en mapas donde ubicar la posible colocación de una pantalla acústica que ayude a mitigar los efectos producidos por el ruido emitido en una vía de comunicación
- Desarrollar y visualizar mapas sobre la exposición de ruido en edificios posteriormente a la instalación de una pantalla acústica que permitan la visualización del nivel de ruido expuesto
- Producir y reflejar mapas estratégicos de ruido (MER) de una vía de comunicación en las que hay instalada una pantalla acústica que permitan la visualización del nivel de ruido
- Crear y exponer una escena 3d en entorno local, con ArcGIS PRO, que permita una visualización clara de la ubicación de la pantalla acústica, áreas de protección de la misma o zona de sombra, isófonas resultantes, y niveles sonoros de los edificios afectados.
- Publicar o compartir mapas 2D en entorno ArcGIS Online
- Publicar o compartir escenas 3D en entorno ArcGIS Online

1.4. ESTRUCTURA DEL TFM.

La presente memoria se articula en 8 apartados en los que tras una breve *Introducción* en la se expone el origen sobre la problemática existente al respecto del tema escogido y las líneas de actuación para su corrección, se detallan los objetivos generales y específicos marcados y se hace una contextualización sobre el *Marco Teórico* en el que se introducen los conceptos básicos que permitirán una mejor interpretación de este trabajo, partiendo desde la definición del propio sonido, generación de ondas sonoras o acústicas por una fuente de sonido, partes de una onda sonora, presión acústica, ruido, índices de evaluación del sonido, umbrales límites, barreras acústicas y tipos, pantallas acústicas y tipos, incluso haciendo una breve referencia en cuanto al diseño de una pantalla acústica.

En el capítulo 3 dedicado al Análisis normativo se enumera y describe la normativa existente relativa al ruido ambiental que habrá que tener muy en cuenta a la hora de abordar el apartado 4 en el que se describe el método de trabajo llevado a cabo.

Los resultados obtenidos son presentados y comentados en los capítulos 5 y 6 respectivamente en el que además, en este último se describe alguna posible línea de desarrollo y ampliación.



Finalmente, se añaden algunos Apéndices en los que se trata de forma pormenorizada sobre algunos de los temas mencionados durante la exposición del trabajo de forma anexa.

2. MARCO TEÓRICO

Para dar fundamento teórico al contenido de la presente memoria, se exponen, sin entrar en detalles, los distintos conceptos básicos relacionados con las medidas correctoras a aplicar sobre niveles de ruido en áreas residenciales, abarcando desde la propia concepción del sonido, origen, propagación, medición o cuantificación, consideración de ruido, índices utilizados para expresar el nivel de ruido, límites máximos de ruido establecidos por la normativa vigente, así como los tipos de dispositivos o elementos disponibles para amortiguar o eliminar las molestias causadas por el ruido.

Así mismo y de forma particular, se exponen los distintos tipos de pantallas acústicas disponibles en el mercado, como los criterios de diseño de las mismas.

2.1. Sonido. Onda y Presión Sonora. Conceptos básicos

La Real Academia Española de la Lengua define **sonido** como la *“sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire”*.

Esta transmisión del movimiento producido en el aire, se realiza en forma de ondas sonoras, y consiste en la vibración de las moléculas del aire que están junto al elemento que genera la vibración y transmitiéndose a las moléculas próximas, vecinas o colindantes de forma sucesiva, generando una variación en la presión atmosférica debido a que el paso de una onda sonora produce una onda de presión que se propaga por el medio, en este caso el aire, a una velocidad de 340 m/s aproximadamente. A esta variación de la presión del aire se la llama, *presión sonora*.

En el aire, las ondas sonoras son transmitidas en forma de movimiento ondulatorio propagándose generalmente en todas direcciones formando ondas esféricas o tridimensionales, salvo en determinados casos en donde este movimiento ondulatorio puede ser longitudinal o transversal en una o dos dimensiones.

Las magnitudes más importantes que definen una *onda sonora* son entre otras el periodo, fase, amplitud y frecuencia. Ver Figura 1. Partes de una onda.

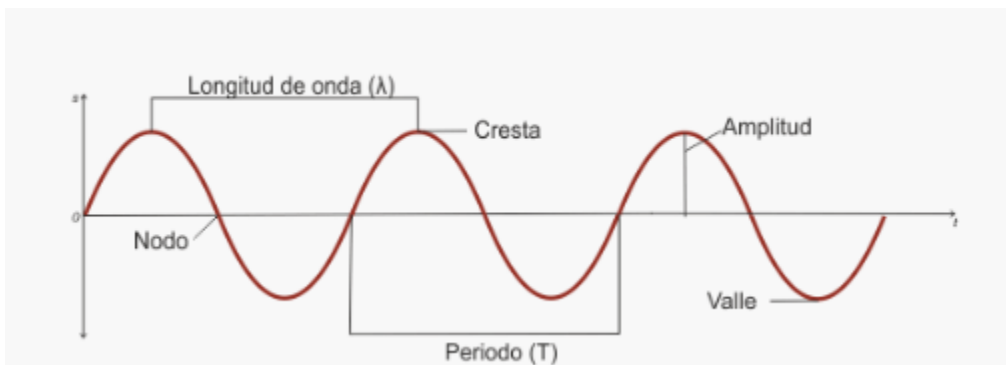


Figura 1. Partes de una onda. Fuente: arablog.co

- Periodo (T): es el tiempo transcurrido por un punto que alcanza sucesivamente la misma posición, o dicho de otra forma es el tiempo que tarda una onda en hacer una oscilación completa.
- Fase (ϕ): expresa la fracción del período transcurrido entre el inicio del ciclo de la onda y el punto tomado como referencia
- Amplitud (A): es el valor máximo del movimiento de la onda
- Longitud de onda (λ): es la distancia entre dos puntos consecutivos que se encuentran en el mismo estado de vibración en la onda sonora.
- Frecuencia (f): es el número de veces que se repite el ciclo de una onda por unidad de tiempo, midiéndose en hertzios (Hz). Los sonidos graves corresponderían a las frecuencias más bajas, mientras que las frecuencias altas corresponderían a los sonidos agudos.
- Velocidad de propagación (v): es la distancia que recorre una onda por unidad de tiempo. En los casos que se considere un ciclo completo el tiempo será el periodo T y la distancia recorrida la longitud de onda λ

$$v = \frac{T}{\lambda}$$

Ecuación 1. Velocidad de propagación

Cualquier fuente emisora de un sonido, está generando una cantidad de energía por unidad de tiempo que se transmite desde el origen al exterior produciendo un aumento de la presión sonora existente, por tanto, cuando se realiza una medición de la presión sonora, no solamente dependerá de la potencia de emisión del sonido y de la distancia radiada desde su origen, sino también de la cantidad de energía absorbida por los

obstáculos que encuentra y la cantidad de energía transmitida, y por tanto es susceptible de ser atenuada.

Como se ha enunciado con anterioridad la presión sonora (P), es la presión que se genera en el aire en un punto determinado y se mide en decibelios (dB) reflejando la presión que ejerce la onda sonora en relación a una presión de referencia que es la presión atmosférica, se mide con un *sonómetro*. Dado que la presión sonora es una magnitud variable de un punto a otro, en ocasiones, es conveniente utilizar otros tipos de magnitudes para realizar mediciones, como la intensidad acústica (I) y/o la potencia sonora (P).

La intensidad acústica es la cantidad de energía transmitida en una dirección por unidad de área, se utilizan como dispositivos de medición analizadores de doble canal y se mide en W/m^2 , watios por metro cuadrado.

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Ecuación 2. Intensidad acústica en fuentes puntuales

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Ecuación 3. Intensidad acústica en fuentes lineales

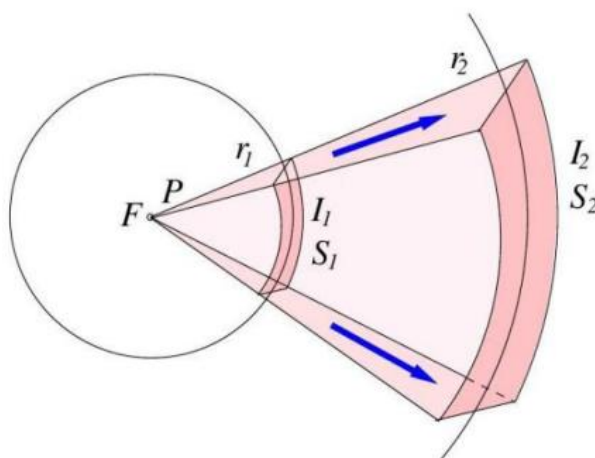


Figura 2. Presión e Intensidad sonora

Donde, ρ , es la densidad del medio de propagación, c , es la velocidad de propagación en el medio considerado y r , es la distancia medida desde el punto de emisión al punto de medición.

En el caso de la potencia sonora, se define como la cantidad de energía radiada o transmitida por una fuente emisora de sonido en una unidad de tiempo y se mide en vatios.

2.2. Ruido. Caracterización

En cuanto al ruido, la Real Academia de la Lengua lo define como “*Sonido inarticulado, por lo general desagradable*”, dicho de otra forma, es aquel sonido emitido por una fuente emisora que origina una onda sonora y que es detectado por el oído humano produciendo en efecto o sensación de molestia. Como se puede observar en la Figura 3. Tipos de ruido, se pueden diferenciar según intensidad, variación en el tiempo, frecuencia, etc.

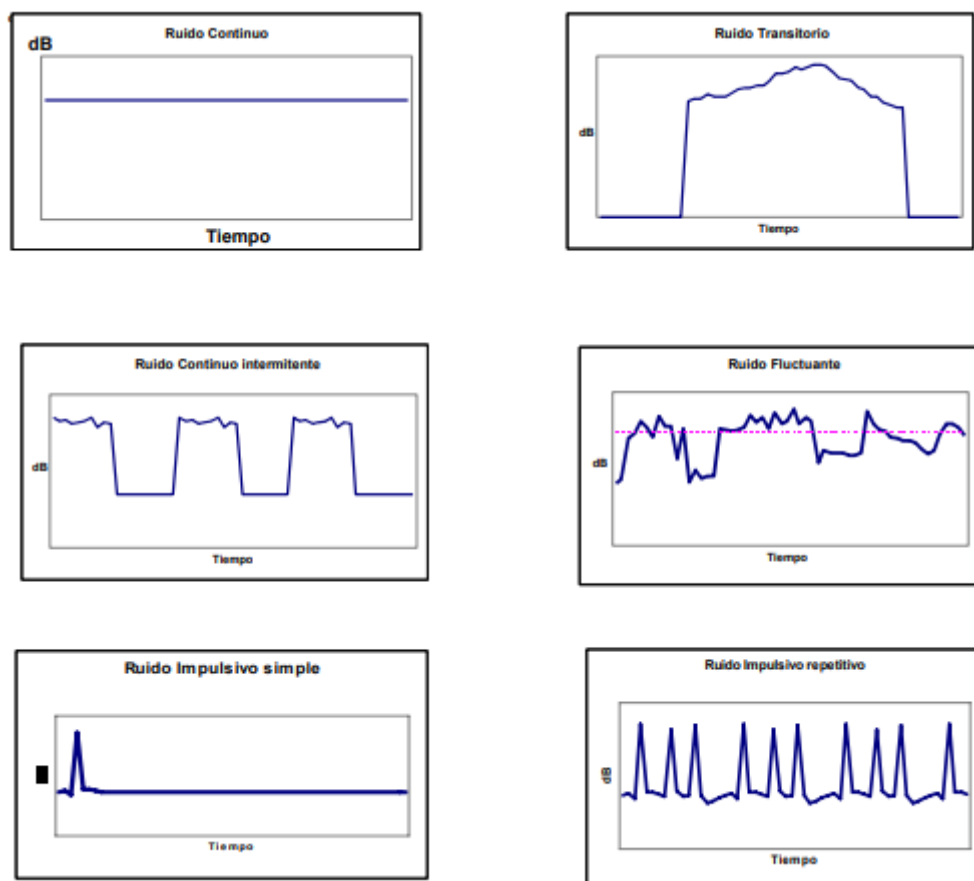


Figura 3. Tipos de ruido. Fuente riunet.upv.net

2.3. Cuantificación de la presión sonora

Dado que los niveles de la percepción de la presión acústica o sonora del oído humano se producen en un intervalo muy grande, comprendido entre los 2×10^{-5} Pa (Pascuales) y los 20 Pa, es necesario recurrir a otros tipos de escalas, como la logarítmica y a otras unidades como el decibelio (dB), definiéndose por tanto la presión sonora L_p como,

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}$$

Ecuación 4. Presión sonora L_p

Donde p_0 es la presión sonora de referencia o mínima presión acústica que el oído humano es capaz de percibir y p es la presión eficaz. Por tanto, si convertimos los niveles de presión sonora que provocan una sensación auditiva en el oído humano en pascuales utilizando la Ecuación 4. Presión sonora, a decibelios, obtendremos un rango de entre 0 y 120 dB. Al límite superior expresado, se le denomina “umbral del dolor” a partir del cual se pueden producir lesiones o daños físicos en el oído humano. Ver Figura 4. Presiones sonoras producidas por varios sonidos. Fuente: www.solerpalau.com

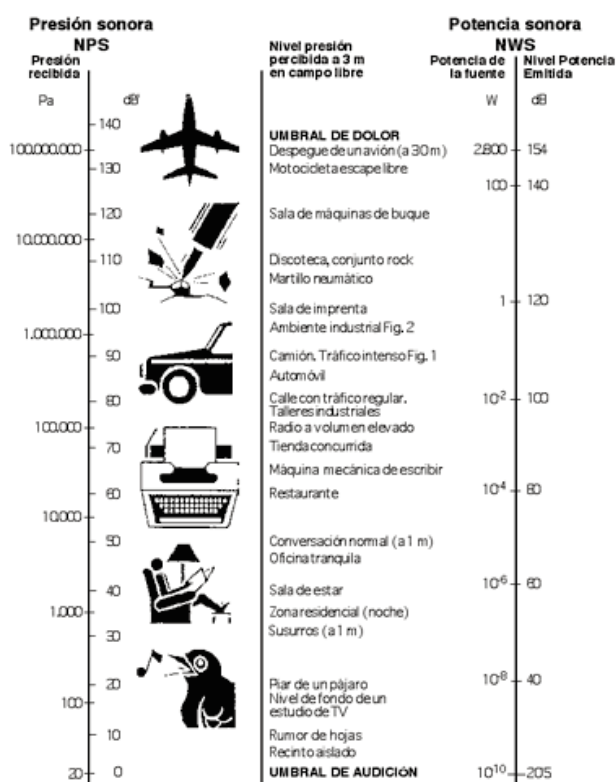


Figura 4. Presiones sonoras producidas por varios sonidos. Fuente: www.solerpalau.com

Cuando dos o más fuentes sonoras coinciden en el espacio y en el tiempo y están generando sonido u ondas sonoras están a su vez provocando un aumento de la presión sonora existente en el medio, la suma de estas no se realiza de forma numérica o aritmética, sino que se produce de la siguiente forma,

$$L_{TOTAL} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}}$$

Ecuación 5. Suma de presiones sonoras

Donde, n es el número de fuentes emisoras de sonido, y L_i , es el nivel de presión sonora generados por cada una de las fuentes expresado en dB.

Una vez conocidos los conceptos de sonido, onda sonora, ruido, presión sonora y como se ve afectada esta cuando coinciden dos o más fuentes, hay que conocer cómo se *propaga el sonido* en el medio, distinguiendo, además, esta propagación dependiendo de si el tipo de fuente es puntual o lineal.

Las fuentes de sonido puntuales, son aquellas que generan desde un punto concreto toda la potencia sonora, como por ejemplo, las máquinas estáticas que no poseen ningún tipo de movimiento. En estos casos, la propagación de las ondas sonoras se asemeja a la propagación de las ondas de un lago o estanque, las cuales se desplazan de forma uniforme en todas direcciones atenuándose según se alejan del punto emisor.

En el caso ideal en el que no existiesen reflexiones u obstáculos en el medio, el sonido se propagará en forma de ondas sonoras esféricas (ver Figura 2. Presión e Intensidad sonora). Por tanto, relacionando la Ecuación 2. Intensidad acústica y la Ecuación 4. Presión sonora, podemos expresar en decibelios la relación entre el nivel de potencia acústica y la presión sonora originada en un punto a una distancia r, de forma,

$$L_w = L_p + 20 \cdot \log r + 11$$

Ecuación 6. Nivel de presión sonora fuente puntual en decibelios a una distancia r del origen

De la expresión anterior se puede deducir que cada vez que se dobla la distancia del punto de referencia o medición con respecto al origen, se produce una atenuación o disminución del nivel de presión sonora de 6 dB

En las fuentes sonoras lineales, el sonido está generado por una fuente lineal, como por ejemplo una carretera, y su propagación será por tanto en forma de ondas cilíndricas en las que la variación de la relación de la variación de la energía en función de la

distancia es diferente. En este caso relacionando, al igual que en el caso anterior, la Ecuación 3. Intensidad acústica en fuentes lineales y la Ecuación 4. Presión sonora, podemos expresar en decibelios la relación entre el nivel de potencia acústica o sonora y la presión sonora originada en un punto a una distancia r , de forma,

$$L_w = L_p + 20 \cdot \log r + 8$$

Ecuación 7. Nivel de presión sonora fuente lineal en decibelios a una distancia r del origen

De la expresión anterior se puede deducir que cada vez que se dobla la distancia del punto de referencia o medición con respecto al origen, se produce una atenuación o disminución del nivel de presión sonora de 3 dB

La propagación del sonido en el medio, no es ideal, y por tanto está sometida a la propia naturaleza del medio y a determinados obstáculos que provocan una disminución o atenuación de la presión sonora. Estas atenuaciones debidas la naturaleza del propio medio, se deben a que la densidad del aire no es homogénea, la temperatura, dado que está influye en la propia densidad del aire, e incluso al viento, que puede provocar que el sonido se propague en lugar de línea recta en líneas curvas.

En el caso de que se interponga un obstáculo entre la fuente emisora y el receptor, la propagación del sonido puede sufrir alteraciones, de forma que cuando una onda sonora impacta sobre un sólido, una parte de la energía es absorbida por el mismo, otra es reflejada y una última parte lo rodea. Ver Figura 5. Comportamiento de una onda sonora frente a un obstáculo

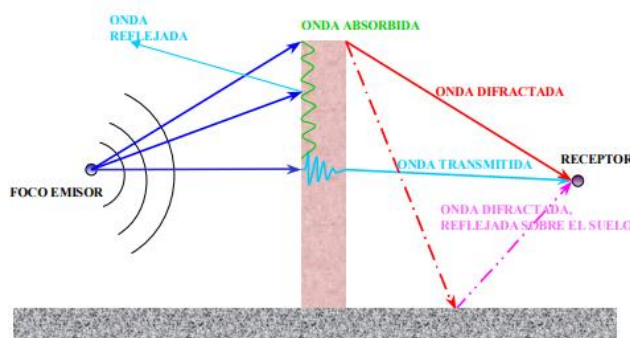


Figura 5. Comportamiento de una onda sonora frente a un obstáculo. Fuente: www.sicaweb.cedex.es

2.4. Indicadores de ruido

Una vez cuantificada la presión sonora originada por una fuente emisora de sonido bien sea puntual o lineal y determinadas las características del sonido

denominado ruido, ¿cómo se valora cuantitativa y cualitativamente las molestias que ocasiona el ruido?, ¿Cómo se establecen los límites de ruido?.

Desde el punto de vista medioambiental, se estudia el ruido con el objeto de alcanzar una determinada protección del ambiente sonoro teniendo en cuenta el área y situación en que este se produce, pero el determinar el grado de molestia se convierte en una tarea ardua, debido a la subjetividad del propio término “molestia”, por lo que se ha de utilizar un indicador fácil de obtener e interpretar y que tenga en cuenta aspectos como la energía sonora con la que se produce (a más energía más molesto), el tiempo de exposición (cuanto más tiempo se esté expuesto al ruido más molesto será), las características del propio ruido (frecuencias muy altas o muy bajas, ritmo, etc..), el receptor (cada persona tiene un grado de molestia distinto), la actividad del receptor (si trabaja de noche y quiere descansar de día, si trabaja en ambiente sonoro o en silencio), las expectativas y calidad de vida (en un entorno rural el ruido no es considerado igual que en una gran ciudad). También hay que tener en cuenta que existen criterios médicos o sanitarios los cuales establecen una protección del sistema auditivo y de la salud en general, así como criterios de calidad ambiental que tengan en cuenta las demandas o exigencias de la población frente al ruido.

Por todo lo anterior, hoy en día, todavía no se han conseguido unificar criterios y establecer un indicador que establezca el nivel de presión sonora a partir del cual se considera ruido, aunque a pesar de ello los más utilizados en la actualidad son,

- Nivel de presión sonora (nivel sonoro) L - SPL: se expresa como L_A , y se mide en decibelios A. Establece para un determinado periodo de tiempo el ruido de mayor (L_{amax}) y de menor (L_{amin}) intensidad, por lo que este índice no aporta información alguna en cuanto a la duración y ni la exposición total al ruido. Ver Figura 6. Niveles sonoros máximos y mínimos. Fuente: www.sicaweb.cedex.es.

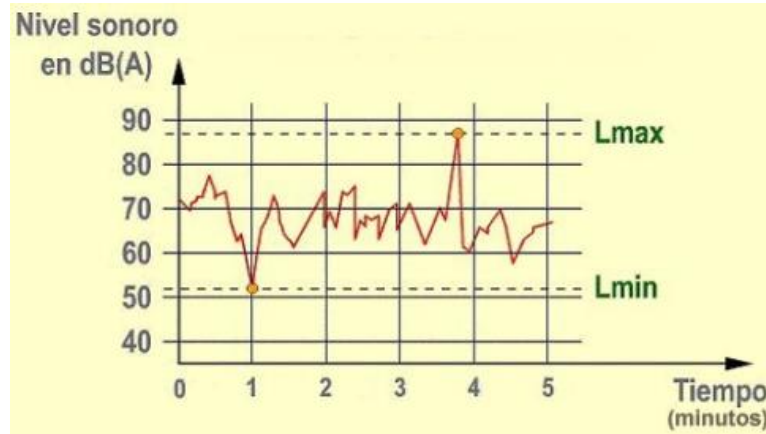


Figura 6. Niveles sonoros máximos y mínimos. Fuente: www.sicaweb.cedex.es

- Nivel de presión sonora continuo equivalente. $L_{Aeq}(T)$: se expresa como $L_{Aeq}(T)$ y donde T, expresa el periodo de tiempo al que se refiere, midiéndose en dBA¹. Mediante este indicador se expresa la media de la energía recibida por una persona en un intervalo de tiempo determinado y representa el nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente percibido durante el mismo intervalo de tiempo

$$L_{Aeq}(T) = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{T}\right) \cdot \int_T \left(\frac{P}{P_0}\right)^2 \cdot dt$$

Ecuación 8. Nivel de presión sonora continuo equivalente. $L_{Aeq}(T)$

donde T, es el tiempo de duración de la medición, P_0 , es la presión sonora de referencia $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, y P, es la presión sonora instantánea.

A efectos prácticos para calcular el $L_{Aeq}(T)$, se realiza como la suma de los n niveles de presión sonora L_i emitidos en un tiempo t_i , de la siguiente forma,

$$L_{Aeq}(T) = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{T}\right) \cdot \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \cdot t_i$$

Ecuación 9. Nivel de presión sonora continuo equivalente. $L_{Aeq}(T)$ discreto

donde, L_i es el nivel de presión sonora constante en un intervalo i, t_i , es el tiempo del intervalo i correspondiente a la medición L_i .

¹ Filtros de ponderación. (López, 1999)

- Índices de la serie estadística (niveles percentiles)², L_N : Podemos descomponer la variación que sufre la presión sonora en un periodo de tiempo determinado en intervalos de igual amplitud, para cada uno de los cuales se obtiene su nivel de presión sonora. Este índice estadístico simplemente muestra la probabilidad de sobrepasar un determinado valor de presión sonora en un punto determinado y además para sea representativo es necesario disponer de un número de muestras elevado. Los intervalos más utilizados son, (Ver Figura 7. Nivel sonoro continuo equivalente y niveles estadísticos. Fuente: www.sicaweb.cedex.es)
 - Nivel L_1 : que es aquel que es alcanzado y superado el 1 % del tiempo en el periodo considerado, por tanto, es un valor muy cercano al ruido máximo
 - Nivel L_{10} : es aquel que se alcanza o supera durante el 10 % del tiempo
 - Nivel L_{50} : es aquel que se alcanza o supera durante el 50 % del tiempo, en este caso se correspondería con el ruido medio
 - Nivel L_N : es aquel que se alcanza o supera durante N tiempo

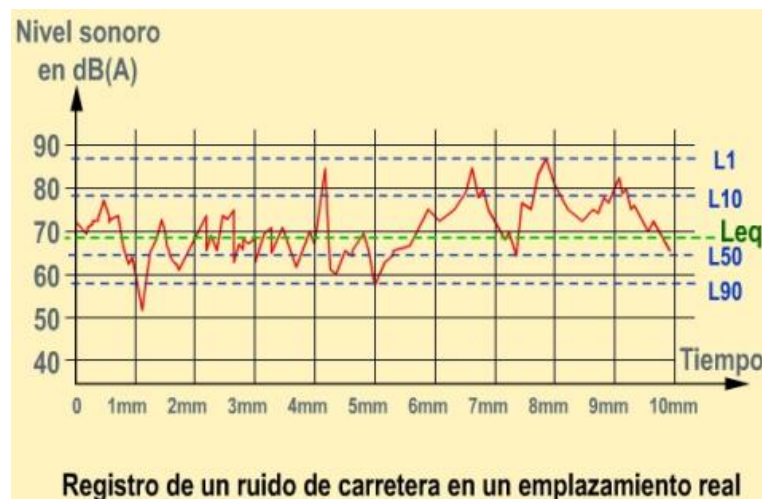


Figura 7. Nivel sonoro continuo equivalente y niveles estadísticos. Fuente: www.sicaweb.cedex.es

- Nivel de exposición sonora (SEL): este índice muestra el nivel de energía sonora que emite un ruido que tiene la misma energía en un tiempo de un segundo que la del ruido real durante un intervalo de

² (García & Faus, 1991) estudia la relación existente entre distintos índices de ruido

tiempo T , es muy utilizado para clasificar y comparar ruidos de distinta duración.

$$SEL = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{T_0}\right) \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} \cdot t_i$$

Ecuación 10. Nivel de exposición sonora (SEL)

Donde, T_0 , es 1 segundo, y t_i , es el tiempo durante el cual se produce el nivel sonoro o una presión sonora L_i y además coincide con el tiempo real de exposición.

Los índices determinados por el Nivel de presión sonora continuo equivalente $L_{Aeq}(T)$ y el Nivel de exposición sonora SEL, se pueden relacionar entre sí mediante la siguiente expresión, (Ver Figura 8. Nivel sonoro continuo equivalente y nivel de exposición sonora. Fuente: www.sicaweb.cedex.es)

$$SEL = L_{Aeq}(T) + 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right), \text{ siendo } T_0 = 1 \text{ s}$$

Ecuación 11. Relación entre L_{Aeq} y SEL

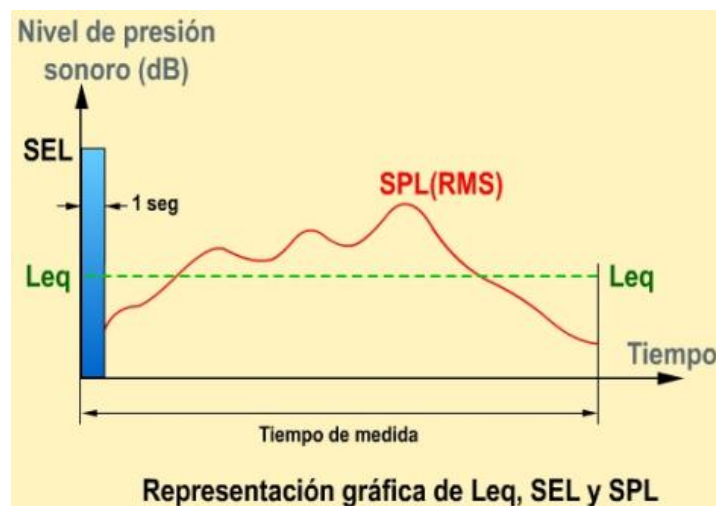


Figura 8. Nivel sonoro continuo equivalente y nivel de exposición sonora. Fuente: www.sicaweb.cedex.es

En Europa, y por ende en España, la Directiva(UE) 2015/996 de la Comisión de 19 de mayo de 2015 por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, establece como Índice de evaluación del ruido el L_{Aeq} , pero referido para tener en cuenta la variable temporal, a periodos diurnos y nocturnos, ya a que el ruido es más tolerado en período diurno que en nocturno. Sin embargo, el establecimiento de la periodicidad diurna y nocturna no se puede generalizar para todos los países de la unión europea por razones

geográficos e incluso sociales. Por lo tanto, el Índice de evaluación del ruido propuesto por la directiva teniendo en cuenta la periodicidad queda de la siguiente forma,

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

Ecuación 12. Indicador L_{den} propuesto por la UE. para la evaluación del ruido

2.5. Umbrales máximos permitidos de nivel de ruido ambiental

En cuanto a los umbrales máximos admisibles de niveles de ruido ambiental, están regulados por la normativa (Ver 3. ANÁLISIS NORMATIVO) variando en función de los usos del suelo y del periodo (día o noche) considerado, siendo actualmente de 65 dB(A) en período diurno y de 55 dB(A) en período nocturno medidos en las fachadas exteriores de los edificios de uso residencial, en apartados siguientes se abordarán este tema de forma más sucinta.

2.6. Medidas correctoras a aplicar en el medio de propagación

Las vías de comunicación por carretera suponen uno de los grandes focos emisores de ruidos, por lo que desde un punto de vista técnico / jurídico se han regulado los límites de emisión de ruidos de los vehículos que circulan por las carreteras y además se obliga a que toda infraestructura de nuevo diseño y ejecución disponga de un estudio acústico previo que identifique las fuentes de ruido y adopte las medidas correctoras en aras de reducirlo.

Para la realización de los estudios de ruido o acústicos de las vías de comunicación se tienen en cuenta, el tipo de tráfico, la tipología de la capa de rodadura, la velocidad de los vehículos e incluso el caudal de los vehículos que circulan la vía.

Para reducir o atenuar los niveles de ruido emitidos, se puede actuar en varias direcciones que intervienen en su origen, como la propia naturaleza del material de la capa de rodadura, los vehículos que circulan por la vía, o en la inclusión de elementos que obstaculicen la propagación del ruido. Es este último, donde la forma más comúnmente utilizada para atenuar o mitigar los molestos efectos producidos por los ruidos provocados por el tráfico existente en una vía de comunicación, son los dispositivos reductores capaces de absorber y/o aislar las edificaciones existentes en zonas urbanas. Reciben el nombre de barreras acústicas y se sitúan entre la fuente de ruido emisora y el área residencial afectada, de forma que detrás de la barrera acústica

se crea un área donde los niveles de ruido se han reducido denominando a esta área zona de sombra acústica. En el Apéndice I. Barreras acústicas. Tipos, se muestran de una forma breve los distintos tipos de barreras acústicas.

Las medidas correctoras más empleadas en el ámbito de la reducción del ruido ambiental, son la instalación de las denominadas pantallas acústicas, las cuales se definen mediante su eficacia, determinada en base al índice de absorción acústica, y al coeficiente de aislamiento acústico, estos parámetros se definen más claramente en el Apéndice II. Pantallas acústicas. Tipos y a su dimensionamiento geométrico consistente en su longitud y su altura. En el Apéndice III. Diseño de una pantalla acústica, se define el proceso de una pantalla acústica.

3. ANÁLISIS NORMATIVO

En la legislación española, el mandato constitucional de proteger la salud (artículo 43 de la Constitución) y el medio ambiente (artículo 45 de la Constitución) engloban en su alcance la protección contra la contaminación acústica. Además, la protección constitucional frente a esta forma de contaminación también encuentra apoyo en algunos derechos fundamentales reconocidos por la Constitución, entre otros, el derecho a la intimidad personal y familiar, consagrado en el artículo 18.1.

En la actualidad en España, no existe legislación específica que integre la protección contra la contaminación por ruido y vibraciones. El marco legal existente en el momento se articula en reglamentos, leyes y normas enfocadas de forma muy sectorial en el ámbito europeo, nacional, autonómico y local, lo cual resulta muy complicado a la hora de utilizar la citada normativa.

Las normas consolidadas existentes, en relación con la temática del presente Trabajo Fin de Máster, se pueden encontrar agrupadas para una mejor consulta en la Biblioteca Jurídica Digital del Boletín Oficial del Estado (https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?id=184&modo=1¬a=0&tab=2), dividiéndose en tres grandes grupos en función del ámbito geográfico de aplicación,

3.1. Normativa Europea de ámbito general en cuanto a Calidad del ambiente acústico y su protección.

- Libro Verde de la Comisión sobre política futura de lucha contra el ruido (COM (96) 540), de 4 de noviembre de 1996. No publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOCE). http://docubib.uc3m.es/CDE/COMUNICACIONES/1994/com1994_659.PDF
- Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y el Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. (DOUE nº 189, de 18 de julio de 2002). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2002-81289>, tiene por objeto establecer un enfoque común destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental y sentar unas bases que

permitan elaborar medidas comunitarias para reducir los ruidos emitidos por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles.

3.2. Normas estatales con rango de Ley.

- Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1986-10499>, tiene por objeto la regulación general de todas las acciones que permitan hacer efectivo el derecho a la protección de la salud reconocido en el artículo.43 y concordantes de la Constitución.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-20976> , tiene por objeto la regulación de la contaminación acústica para evitar, y en su caso, reducir, los daños que pueda provocar en la salud humana, los bienes y el medio ambiente e incorpora las previsiones básicas de la Directiva 2002/49/CE.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2005-20792>, tiene por objeto la evaluación y gestión del ruido ambiental, con la finalidad de prevenir, reducir o evitar los efectos nocivos, incluyendo las molestias derivadas de la exposición al ruido ambiental, según el ámbito de aplicación de la Directiva comunitaria que se incorpora.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18397>, donde se delimitan los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003; se establecen los objetivos de calidad acústica para cada área, se regulan los emisores acústicos fijándose

valores límite de emisión o de inmisión así como los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.

- Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2012-9984, donde se modifican los límites establecidos en la tabla A del Anexo II, donde se definen los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes.

3.3. Normas autonómicas más relevantes y con rango de ley publicadas en el BOE.

- Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, <https://www.boe.es/buscar/pdf/2009/BOE-A-2009-11125-consolidado.pdf>, tiene por objeto prevenir, reducir y vigilar la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños y molestias que de ésta se pudieran derivar para la salud humana, los bienes o el medio ambiente, así como establecer los mecanismos para mejorar la calidad ambiental desde el punto de vista acústico, en la Comunidad de Castilla y León. Además, en su artículo 6, que corresponde a los Ayuntamientos la elaboración y aprobación de las ordenanzas municipales necesarias para el desarrollo y aplicación de la ley y dispone que corresponde a las Diputaciones Provinciales aprobar una norma subsidiaria de ámbito provincial en relación con las materias objeto de la ley, aplicable a todos los municipios de menos de 20.000 habitantes. Existe una plantilla. La Junta de Castilla y León ha redactado un Modelo de Ordenanza Municipal/Norma Subsidiaria de ruido y vibraciones para que la puedan implementar los distintos municipios (



3.4. Normativa de carácter local

- Ordenanza de Ruidos y Vibraciones de las distintas localidades si las hubiere.

4. PROCESO DE TRABAJO.

Para la elección del ámbito de actuación y el tipo de vía de comunicación del presente TFM se ha tenido muy en cuenta la búsqueda y obtención de datos necesarios para llevar a cabo el trabajo, además de la existencia de áreas de uso residencial colindantes no demasiado densas, de forma que no provoquen dificultades de índole informática a la hora de la ejecución de los distintos análisis espaciales. Por tanto, se realiza la elección de una vía de comunicación de primer orden o de la red principal de carreteras de España como es la Autovía A-601 o también conocida como “Autovía de los Pinares”. Ver Figura 9. Plano de Situación Autovía A-601. Fuente: Mapas Estratégicos de Ruido

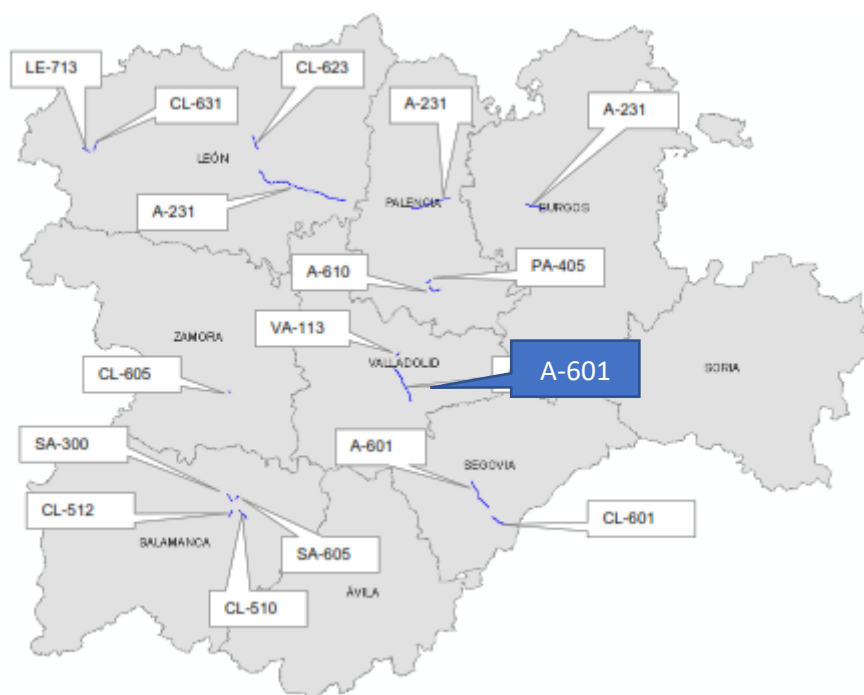


Figura 9. Plano de Situación Autovía A-601. Fuente: Mapas Estratégicos de Ruido
de las Carreteras de la Red Regional

Se trata de una vía de gran capacidad que comienza en la VA-30 (ronda exterior de Valladolid) y finaliza en la SG-20 (circunvalación de Segovia) teniendo una longitud de 104,6 kilómetros, de los que 39,4 pertenecen a Valladolid y 65,2 a Segovia.

El tramo considerado se trata del limitado administrativamente por el término municipal de Tudela de Duero, en la provincia de Valladolid. (Ver Figura 10. Autovía A-601 a su paso por el T.M. de Tudela de Duero. Fuente: www.idee.es

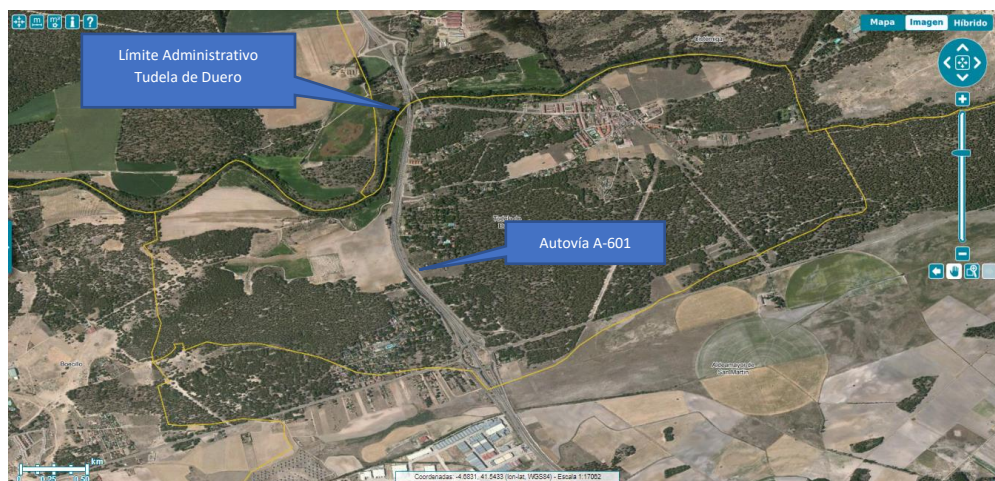


Figura 10. Autovía A-601 a su paso por el T.M. de Tudela de Duero. Fuente: www.idee.es

A partir de los datos del tráfico que circula por una vía de comunicación dada, se puede realizar el cálculo del sonido procedente de una carretera mediante el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)», mencionado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133», método recomendado por la Directiva del Parlamento Europeo 49/2002/CE sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental, así como el Real Decreto 1513/2005. Este método contiene un procedimiento detallado para calcular los niveles sonoros causados por el tráfico en las inmediaciones de una vía, teniendo en cuenta los efectos meteorológicos y obstáculos que pueden influir sobre la propagación³ y utiliza información específica relativa al tráfico como, el número de vehículos ligeros y pesados por hora, velocidad de los vehículos ligeros y pesados por hora, tipo de flujo de tráfico (continuo, pulsado acelerado, pulsado desacelerado o pulsado no diferenciado), tipo de superficie del pavimento (suave, poroso, piedra, cemento corrugado) y la pendiente de la carretera (llana, descendente o ascendente).

Es a partir de este momento en el que se conocen los niveles sonoros emitidos, cuando se está en disposición tal y como obliga la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido a la realización del mapa estratégico de ruido⁴ o también llamado mapa de ruido o mapa de niveles sonoros, correspondiente a la carretera A-601 calculando el nivel

³ Existen distinto software predictivo como por ejemplo Predictor 10.1, de la casa Brüel&Kjaer, el cual dispone de los modelos matemáticos recomendados por la Directiva Europea 2002/49/CE para la realización de estudios predictivos.

⁴ Se define en el Art. 3 de la Directiva 2002/49/CE como “mapa estratégico de ruido” como ...”mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales de dicha zona”

sonoro en distintos puntos denominados receptores. Por lo que este mapa deberá contener un *mapa de niveles sonoros* que abarcan la zona de estudio y un *mapa de exposición al ruido* en el que figuran los edificios expuestos a determinados niveles de ruido. Las líneas que unen los puntos con igual nivel sonoro se las denomina *curvas isófonas*. A este mapa de ruido es al que se denominará *mapa de isófonas iniciales*.

Identificada la problemática mediante el mapa de niveles sonoros y el mapa de exposición al ruido de los edificios, se está en disposición de identificar las zonas susceptibles de ubicación de una pantalla acústica que atenúe los efectos producidos por el ruido emitido por el tráfico de la vía de circulación en los edificios cercanos.

Con la ubicación de la pantalla acústica definida, y suponiendo un dimensionamiento de la misma de forma óptima (Ver Anexo Apéndice XV Método Simple de la Guide Du Bruit), se puede obtener el mapa de niveles sonoros al que denominaremos *mapa de isófonas finales*, así como un nuevo mapa de exposición de los edificios, a posteriori, en el que se podrán observar los nuevos niveles de ruido a los que los edificios estarían expuestos.

Por tanto, y resumiendo lo anteriormente citado, se trata en definitiva de, obtener mapas que muestren los niveles de ruido al que se ven expuestos los edificios cercanos a una vía de circulación antes y después de la colocación de una pantalla acústica a partir de los datos de una vía de comunicación, tráfico, mapas de ruido emitido por esta, y ubicación de los edificios de las distintas áreas residenciales. Ver Figura 11. Proceso de Obtención de MER a partir de datos de aforos de tráfico

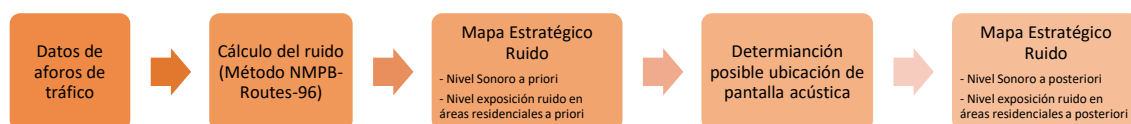


Figura 11. Proceso de Obtención de MER a partir de datos de aforos de tráfico

Para el llevar a cabo el procedimiento de trabajo enunciado, después de valorar entre distintas posibilidades como incluso la utilización del software libre QGIS, se ha optado por el uso de ArcGIS, dado que se dispone de la correspondiente licencia de funcionamiento, así como de espacio web propio de la Universidad de Salamanca.

El software elegido (ArcGIS), no solamente se utilizada para la creación de mapas, sino que permite la colaboración entre usuarios y el uso compartido de la propia información geográfica. Dispone de un gran conjunto de aplicaciones relacionadas entre sí que comparten la misma arquitectura destinada al tratamiento de la información geográfica permitiendo su creación, administración, manipulación, edición, análisis y distribución. (Ver Figura 12. Aplicaciones disponibles en entorno ArcGIS. Fuente; www.esri.es).

Entre las funciones más importantes que dispone se encuentran (Bermejo, 2020)

- Creación de datos geográficos mediante digitalización asistida.
- Dibujo y edición de entidades en un mapa.
- Trabajo con dispositivos móviles mediante la actualización de los datos en tiempo real.
- Sintetización de los datos provenientes de diferentes fuentes.
- Almacenamiento de toda la información en una base de datos geográfica.
- Realización de operaciones de análisis espacial.
- Diseño y calculo redes.
- Automatización de geoprosesos.
- Creación de visualizaciones de propiedades espaciales en 2D y 3D.
- Maquetación de mapas y control de salida de datos.
- Publicación de la información geográfica para que esté accesible para cualquier otro usuario.

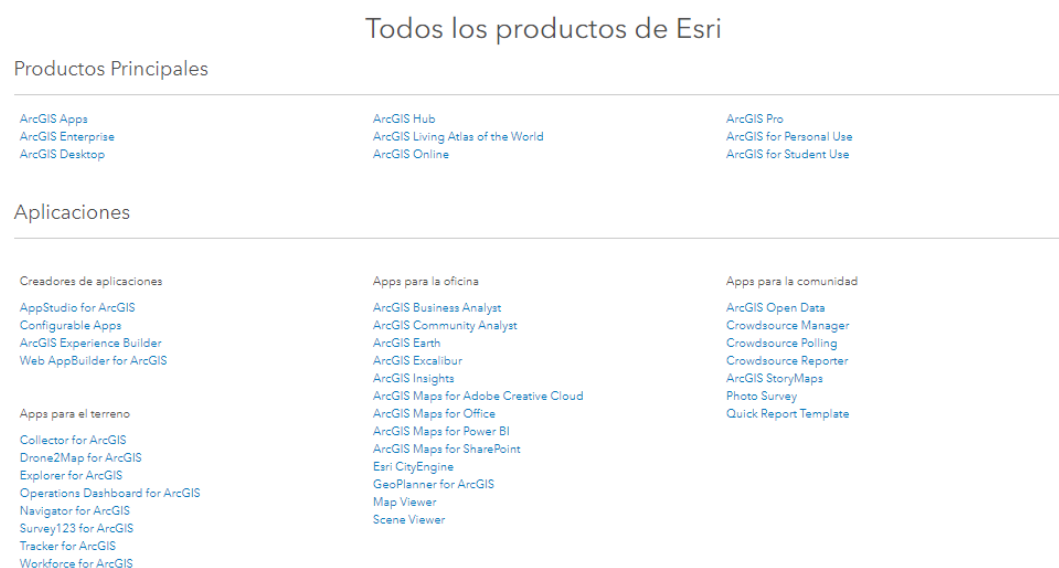


Figura 12. Aplicaciones disponibles en entorno ArcGIS. Fuente; www.esri.es

De los productos principales que integran ArcGIS, se ha utilizado para el desarrollo del TFM el software denominado ArcGIS PRO, el cual mediante el Panel Catálogo permite gestionar toda la información de captura de datos, implementación en BBDD, gestión de conexiones a distintos servidores, gestión de metadatos de las entidades, etc..., así mismo, para la visualización de la cartografía y análisis en el mapa, tiene implementado distintas herramientas de trabajo o geoprocesamientos, pudiendo también utilizar distintas cajas de herramientas que amplían considerablemente las posibilidades de trabajo del software. Es ahí donde se han diseñado y creado las distintas herramientas que se implementan en el geoprocesamiento y que permiten la realización de los distintos análisis espaciales de los datos, para culminar el proceso mediante la creación de los mapas necesarios y posterior publicación en ArcGIS online donde se desarrollará la aplicación web (Ver Figura 13. Estructura básica software ArcGIS PRO. Fuente: Elaboración propia)

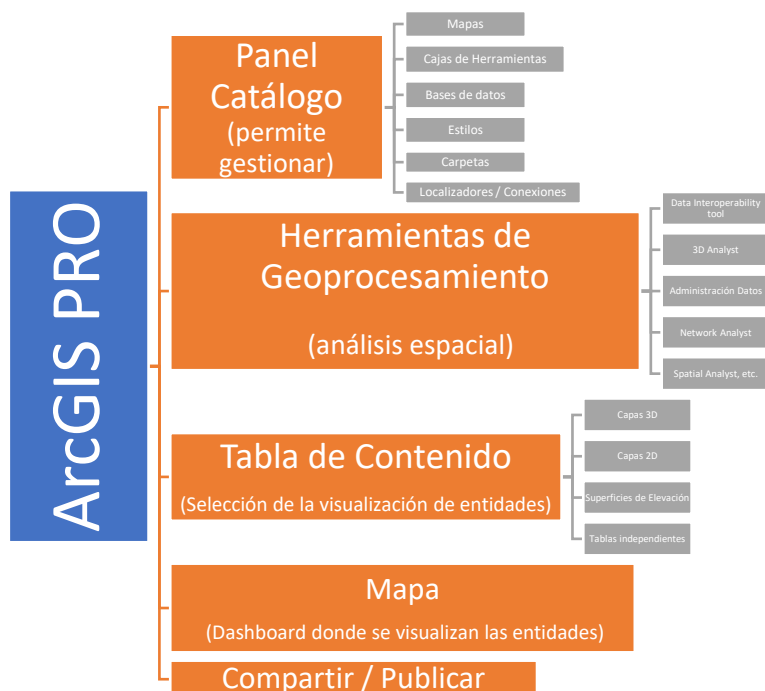


Figura 13. Estructura básica software ArcGIS PRO. Fuente: Elaboración propia

ArcGis Online (ESRI, 2020), es un sistema de administración y uso compartido de contenido SIG, mapas y aplicaciones, permitiendo compartir y habilitar la gran cantidad de tipos de aplicaciones basadas en SIG y sitios Web de usuarios finales, de forma que los usuarios se puedan conectar vía web a estos mapas y/o aplicaciones para usar su contenido. Ver Figura 14. Pantalla de Inicio de ArcGIS Online: Fuente: <https://www.arcgis.com/>

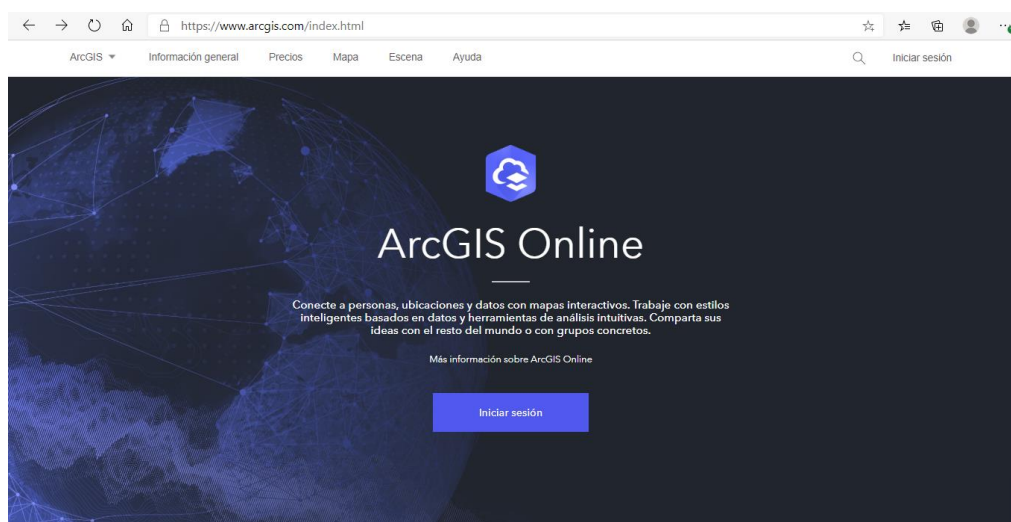


Figura 14. Pantalla de Inicio de ArcGIS Online: Fuente: <https://www.arcgis.com/>

La utilización de ArcGIS Online se realiza para publicar la información geográfica y permitir a través de unos mapas on-line inteligentes que recopilan información geográfica, cartografía, análisis avanzados y flujos de trabajo, también es utilizado para

administrar y compartir mapas e información geográfica por cualquier usuario siempre que tenga acceso vía web. Los productos de información de ArcGIS Online se pueden usar para el diseño de aplicaciones Web, móviles, para Windows, etc., e incluso se puede elegir como y con quién se comparte la información de forma pública o privada. (Ver Figura 15. Esquema de ArcGIS Online. Fuente: (ESRI, 2020))

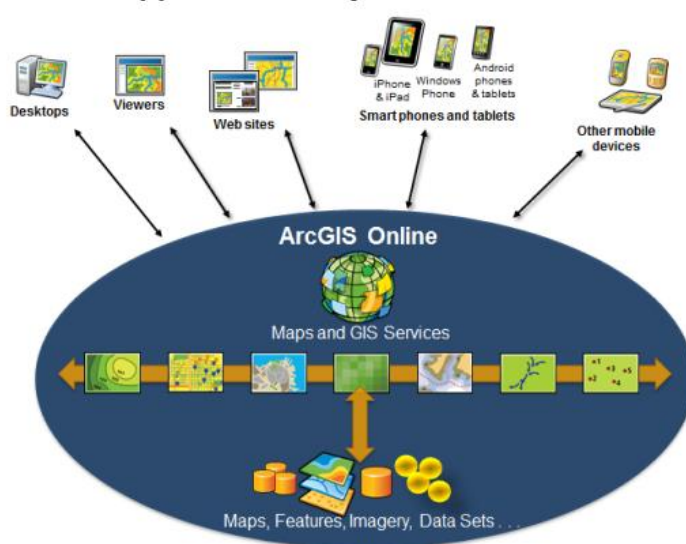


Figura 15. Esquema de ArcGIS Online. Fuente: (ESRI, 2020)

En resumen, consiste básicamente en la obtención de los datos necesarios en forma de capas temáticas o conjuntos de datos (Infraestructura de Datos Espaciales de España), implementación de los mismos, análisis y visualización de resultados obtenidos, en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS PRO), permitiendo representar las relaciones espaciales existentes entre los datos geográficos, así como la creación de una aplicación web que permita también la visualización e interacción con los resultados obtenidos (Arc GIS Online).

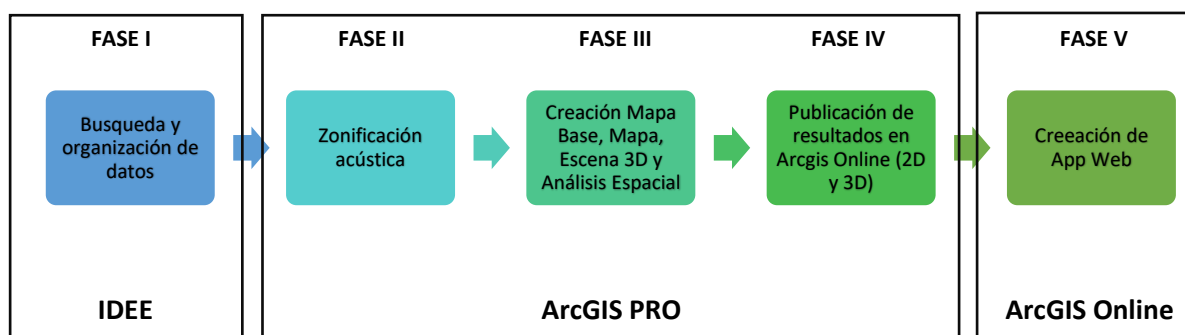


Figura 16. Fases de Proceso de Trabajo. Fuente: Elaboración propia

La Figura 13. Estructura básica software ArcGIS PRO. Fuente: Elaboración propia, sintetiza las fases en las que el proceso se ha llevado a cabo mediante la utilización de las herramientas descritas, distinguiendo una primera, en la que se ha realizado la búsqueda y localización de los datos necesarios, en la Infraestructura de Datos Espaciales de España⁵, continuando con la creación de una base de datos gráfica o Geodatabase en entorno ArcGIS PRO en la que se han insertado los datos obtenidos de una forma organizada.

Una segunda fase, en la que partiendo de los datos iniciales relativos a las áreas y usos del suelo y en aplicación de los límites establecidos por la normativa en vigor en relación a ruidos, se caracterizarán las distintas coberturas de suelo en función del tipo de área acústica, tipo de sensibilidad acústica e incluso con los límites de inmisión de ruidos para lo que se crean y relacionan distintas tablas en las que se han definido cada uno de los distintos parámetros.

En la tercera fase se procede a la creación del *mapa base* del proyecto, así como la incorporación a este de los datos necesarios en forma de capas de entidades de distinto tipo, para su posterior conversión a un *mapa* en el que se realizarán e incorporarán los distintos resultados generados por el análisis espacial ejecutado como son, las capas de entidades que definen la posible ubicación de la pantalla acústica, isófonas iniciales, isófonas finales, posible ubicación de una pantalla acústica, capas que determinan los niveles sonoros soportados por los edificios en un estado previo y posterior a la colocación propia de la pantalla acústica. Así mismo, también se genera una *escena 3D* en la que se añadirán las distintas capas de entidades 3D que conformarán el modelado de los resultados obtenidos.

En la cuarta fase, los resultados se comparten, publican y alojan en servidor remoto desde la aplicación cliente (ArcGIS PRO) hacia el servidor (ArcGIS Online) para su posterior uso.

En la quinta y última fase del proceso de trabajo se realiza el diseño y creación de la aplicación web propiamente dicha, en la que dados los tipos resultados obtenidos en

⁵ El **Geoportal de la IDEE** es el geoportal oficial de la IDE Nacional de España y tiene como objetivos difundir las IDE, fomentar los desarrollos interoperables, contribuir a la implementación de la Directiva INSPIRE, servir como punto de distribución de información relacionada con esos temas y dar visibilidad a todos los recursos IDE existentes en nuestro país, como servicios web, catálogos, geoportales y centros de descarga.

fases anteriores, permitirán la generación de una app web donde se muestren los resultados en 2D así como producir adicionalmente una aplicación web 3D, donde se visualicen los resultados en una escena. Reseñar que en ambos casos se permite la interacción del usuario con los resultados obtenidos.

4.1. Búsqueda, obtención, organización e integración en una BBDD gráfica de los datos iniciales



Las capas temáticas, dataset o conjuntos de datos necesarios para llevar a cabo el presente TFM, se obtienen fundamentalmente a partir de ficheros en formato .shp, integrándose y organizándose dentro de un fichero de proyecto con extensión .APRX de ArcGIS PRO, donde se insertan una base de datos gráfica que por otro lado es la forma más habitual de almacenamiento de un Sistema de Información Geográfica.

Por tanto, las capas de entidades necesarias, son buscadas y obtenidas a partir del IDEE (Infraestructuras de Datos Espaciales de España - <http://www.idee.es>), que es el resultado de la integración, de todas las IDE establecidas por los productores oficiales de datos, y de todo tipo de infraestructuras sectoriales y privadas. A su vez, la IDEE forma parte de la Infraestructura de Datos Espaciales Europea (<https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/>).

Desde el Geoportal, IDEE, se puede ir accediendo a las distintas Infraestructuras de Datos Espacial (<https://www.idee.es/web/guest/proyectos-idee>), así como a los centros de descarga de datos también de ámbito estatal, autonómico y local (<https://www.idee.es/centros-de-descarga>), en función de la naturaleza de los datos buscados.

La creación y organización de la base de datos gráfica se ha abordado en tres fases bien diferenciadas, siendo,

1. Conceptual: teniendo en cuenta el objeto del TFM, se necesitará información relativa a las vías de comunicación (fuente emisora del ruido), edificios y usos del suelo (edificios y áreas receptoras) a lo que se añade con

el objeto de limitar geográficamente el ámbito de actuación (zona de interés), una capa que contiene el límite administrativo del término municipal de Tudela de Duero. Por último, se incluye una capa que delimita el área administrativa de la provincia de Valladolid definiendo así los límites del mapa base a generar.

2. Lógica: Quizá la fase más importante, debido a que es aquí donde se define la propia base de datos. Se ha optado por estructurarla en función de los hitos a obtener durante la fase de cálculo o análisis espacial a realizar (Ver Figura 17. Fases de cálculo o hitos realizar en la herramienta de geoprocésamiento), teniendo en cuenta que se pretende la realización del análisis espacial tanto en 2D como en 3D.

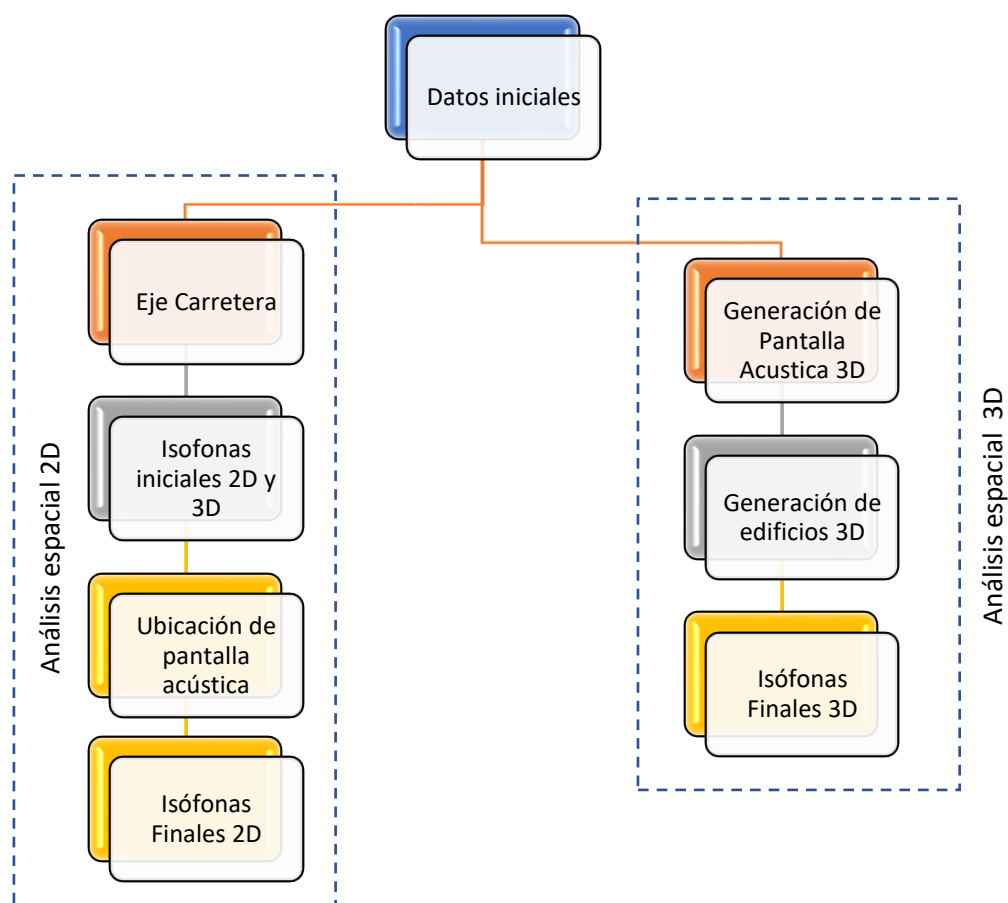


Figura 17. Fases de cálculo o hitos realizar en la herramienta de geoprocésamiento

3. Física: en la que se trasladan o implementan las dos fases anteriores al software quedando definida la base de datos gráfica en el software.

4.1.1. Datos sobre las infraestructuras viarias.

Las infraestructuras viarias existentes deberán estar definidas en cuanto a su geolocalización y trazado. Los datos son obtenidos del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional, (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE>), cuya función, entre otras, es la producción, actualización y explotación de las bases de datos de los aspectos topográficos de la Información Geográfica de Referencia considerada en el Anexo I de la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España, sobre modelos digitales de elevaciones, redes e infraestructuras de transporte, elementos hidrográficos, la localización geográfica y forma geométrica de las entidades de población, la descripción de la superficie terrestre mediante imágenes georreferenciadas obtenidas por satélite o sensores aerotransportados y la ocupación del suelo.

En el enlace <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE#>, se descargan los datos correspondientes a la Red de Transporte que discurre por la provincia de Valladolid, donde se representan, las capas de Redes de Transporte (RT), agrupadas por modos de transporte y provincia, que se suministran a través del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica. Dentro de las carpetas que componen el fichero descargado (RT_VALLADOLID.zip) , las capas se encuentran en formato SHP siendo su sistema de referencia, ETRS89, en coordenadas geográficas (EPSG 4258).

Los campos de las capas son los del modelo de datos de RT, acompañados en su caso por un campo terminado en «D», indicativa de descripción, que traduce los códigos a su valor literal contemplado también en el modelo. El modelo de RT puede descargarse a través del enlace <http://www.ign.es/web/ign/portal/cbg-redes-transporte>. Ver Figura 18. Página de descarga de Datos de Infraestructuras de Transporte. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE#> . Ver Figura 18. Página de descarga de Datos de Infraestructuras de Transporte. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE#>.

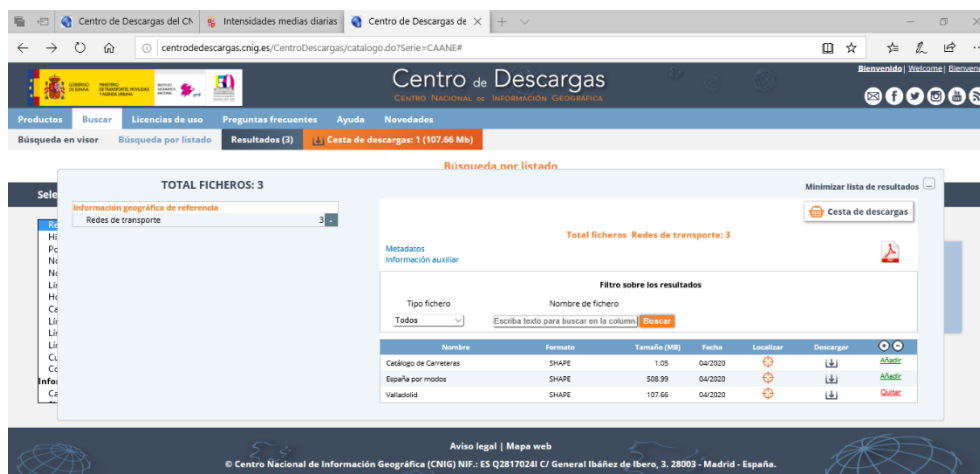


Figura 18. Página de descarga de Datos de Infraestructuras de Transporte.
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=CAANE#>

4.1.2. Datos sobre el tránsito de vehículos

Los datos sobre el tránsito de vehículos en la zona de estudio se definen por los datos de aforo tráfico, a partir de los cuales se pueda obtener la IMD (Intensidad Media Diaria), las intensidades horarias, la composición del tráfico distinguiendo entre porcentaje de vehículos ligeros y pesados, y la distribución del tráfico en el tiempo según los periodos establecidos por la legislación (día, tarde, noche), así como la velocidad de los vehículos en la vía distinguiendo entre pesados y ligeros, (https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/transporte/intensidad_circulacion/1284733182199), Ver Figura 19. Obtención de datos relativos a aforos de tráfico.

En la Comunidad Autónoma de Castilla y León, la Dirección General de Carreteras e Infraestructuras edita desde el año 1995, los datos en relación a la explotación del Plan Regional de Aforos. Los datos publicados son desde el año 2010.

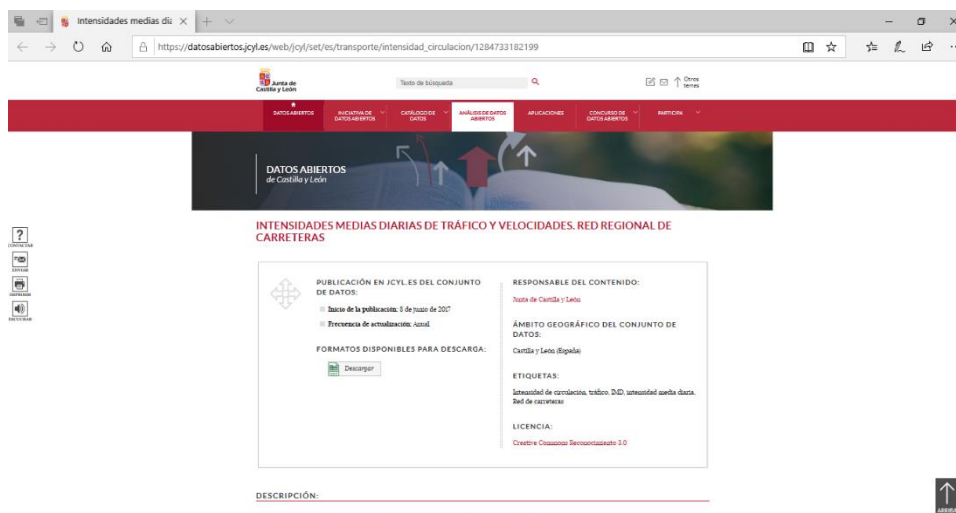


Figura 19. Obtención de datos relativos a aforos de tráfico

De los distintos métodos existentes para la toma de datos sobre el tráfico de vehículos o lo que es lo mismo, la realización de aforos de tráfico, los más utilizados son los de tipo automático, los cuales, mediante contadores instalados en la sección de la vía, registran el paso de los vehículos. Los sistemas de conteo del tráfico más utilizados consisten en,

- Bucles de inducción magnética: detectan el paso de un vehículo cuando este discurre sobre un campo de inducción creado por espiras insertadas en el pavimento. Ver Figura 20. Instalación de Bucle de Inducción Magnética para el aforo de tráfico. Fuente www.navarra.es



Figura 20. Instalación de Bucle de Inducción Magnética para el aforo de tráfico. Fuente www.navarra.es

- Tubo neumático: los vehículos cruzan transversalmente un tubo de goma en la calzada que al ser aplastado produce un impulso que es detectado por el equipo.



Figura 21. Dispositivo de aforo de tráfico. Tubo Neumático. Fuente: www.bolgspot.com

- Equipos radar: detectan el paso de los vehículos mediante la emisión de ondas electromagnéticas que por el efecto Doppler identifican los vehículos en la calzada. Ver Figura 22. Radar móvil instalado en vehículo. Fuente: www.autopista.es



Figura 22. Radar móvil instalado en vehículo. Fuente: www.autopista.es

Asimismo, también se suelen emplear en ocasiones, aforos manuales, en los que personal operativo debidamente formado anota en estadillos los vehículos que atraviesan una sección de vía, distinguiéndolos además por tipo de vehículo.

A partir de los datos de aforos obtenidos de una carretera, convenientemente elaborados, se pueden obtener la IMD (Intensidad Media Diaria), las intensidades

horarias, la composición del tráfico y la distribución por sentido, entre otras magnitudes que definen a la circulación. Para ello se realiza un conteo de vehículos mediante medios manuales o automáticos en una sección determinada de la Red.

Como se ha expuesto, estos datos son publicados para toda la red de carreteras que gestiona la Junta de Castilla y León desde el año 2010, en donde se han filtrado los mismos para la carretera considerada (A-601) en el último período publicado (2018), mostrándose los mismos en Tabla 1. Datos sobre aforo de tráfico en Autovía A-601.

AÑO	PR	TIPO RED	CTRA	TR	ESTAC ASOC	ESTAC AFORO	PK ESTAC	ESTAC AFÍN	DESCRIPCIÓN DEL TRAMO	LONG	PK INICIAL	PK FINAL	IMD AÑO	IMD-L AÑO	Imp AÑO	% LIG AÑO	% PES AÑO	IMD AÑO ANT	IMD-L AÑO ANT	IMDp AÑO ANT	% LIG AÑO ANT	%PES AÑO ANT	VELOCIDAD MEDIA	RANGO VELOC MEDIA	% MOTOS	% TURISMOS	% FURGON.	% TRACT.	% AUTOBUSES	% CAM. S/R	% CAM. ART.	% TREN CTRA.	% EXTRANJ.	% MER. PEL.	LÍMITE CCAA	LÍMITE PROVINCIA	DOBLE CALZADA
2018	SG	B	A-601	6	SG-0450	SG-0450	44,28	SG-0450	DE LÍMITE DE PROVINCIA DE VALLADOLID A CUELLAR (CL-602)	5,9	44,23	50,13	7633	6532	1101	85,58	14,42	7643	6580	1063	86,09	13,91	113	111-120	0,08	74,53	10,96	0	0,39	3,73	9,92	0,39	0,18	0,85		VA	SI
2018	SG	B	A-601	7	SG-0455	SG-0455	56,91	SG-0455	DE CUÉLLAR (CL-602) A NAVALMANZANO (SG-332)	27,49	50,13	77,62	8013	6799	1214	84,85	15,15	8205	7031	1174	85,69	14,31	119	111-120	0,27	73,86	10,71	0	0,29	4,58	10,02	0,26	0,11	0,39			SI
2018	SG	B	A-601	8	SG-0460	SG-0460	88,39	SG-0460	DE NAVALMANZANO (SG-332) A TABANERA LA LUENGA (SG-211)	13,82	77,62	91,44	6663	5685	978	85,32	14,68	6851	5879	972	85,81	14,19	115	111-120	0,23	77,27	7,82	0	0,6	5,62	8,15	0,31	0,11	0,26			SI
2018	SG	B	A-601	9	SG-0465	SG-0465	103,8	SG-0465	DE TABANERA LA LUENGA (SG-211) A ENCINILLAS (CL-603)	13,46	91,44	104,9	9505	8517	988	89,61	10,39	9735	8745	990	89,83	10,17	115	111-120	0,06	81,06	8,49	0	0,43	3,46	6,18	0,33	0,13	0,31			SI
2018	SG	B	A-601	10	SG-0475	SG-0475	105,1	SG-0475	DE ENCINILLAS (CL-603) A SEGOVIA (SG-20)	3,8	104,9	108,7	13239	12128	1111	91,61	8,39	13452	12338	1114	91,72	8,28	102	101-110	0,7	79,25	11,65	0,02	0,52	3,04	4,71	0,12	0,04	0,42			SI
2018	VA	B	A-601	1	VA-3020	VA-3020	10,5	VA-0600	DE VALLADOLID (VA-30) A CL-600	8,49	4,4	12,89	16927	14801	2126	87,44	12,56	16381	14390	1991	87,85	12,15	97	91-100	0,29	80,31	8,52	0	0,39	3,02	7,02	0,45	0,06	0,22			SI
2018	VA	B	A-601	2	VA-0600	VA-0600	15,78	VA-0600	DE CL-600 A ALDEAMAYOR (VA-200)	4,7	12,89	17,59	15952	14216	1736	89,12	10,88	15751	14070	1681	89,33	10,67	104	101-110	0,29	80,31	8,52	0	0,39	3,02	7,02	0,45	0,06	0,22			SI
2018	VA	B	A-601	3	VA-0605	VA-0605	19,88	VA-0605	DE ALDEAMAYOR (VA-200) A PORTILLO (VA-301)	6,65	17,59	24,24	12992	11514	1478	88,62	11,38	12855	11402	1453	88,7	11,3	107	101-110	0,17	81,2	7,25	0	0,34	3,41	7,04	0,58	0,13	0,44			SI
2018	VA	B	A-601	4	VA-0610	VA-0610	27,84	VA-0610	DE PORTILLO (VA-301) A SANTIAGO DEL ARROYO (VP-2203)	5,87	24,24	30,11	8538	7370	1168	86,32	13,68	8629	7475	1154	86,63	13,37	111	111-120	0,37	77,12	6,32	2,51	0,38	3,67	9,16	0,46	0,11	0,51			SI
2018	VA	B	A-601	5	SG-0450			SG-0450	DE SANTIAGO DEL ARROYO (VP-2003) A LÍMITE DE PROVINCIA DE SEGOVIA	14,12	30,11	44,23	7633	6532	1101	85,58	14,42	7643	6580	1063	86,09	13,91	113	111-120	0,08	74,53	10,96	0	0,39	3,73	9,92	0,39	0,18	0,85		SG	SI

Tabla 1. Datos sobre aforo de tráfico en Autovía A-601



4.1.3. Datos sobre las emisiones de ruidos en carreteras

En el Art. 4 de la Ley 37/2003, del ruido se establecen las Atribuciones competenciales en materia de ruido a las Comunidades Autónomas y Entidades Locales en función del ámbito territorial considerado.

1. Serán de aplicación las reglas contenidas en los siguientes apartados de este artículo con el fin de atribuir la competencia para:

a) La elaboración, aprobación y revisión de los mapas de ruido y la correspondiente información al público.

b) La delimitación de las zonas de servidumbre acústica y las limitaciones derivadas de dicha servidumbre.

c) La delimitación del área o áreas acústicas integradas dentro del ámbito territorial de un mapa de ruido.

d) La suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica aplicables en un área acústica.

e) La elaboración, aprobación y revisión del plan de acción en materia de contaminación acústica correspondiente a cada mapa de ruido y la correspondiente información al público.

f) La ejecución de las medidas previstas en el plan.

g) La declaración de un área acústica como zona de protección acústica especial, así como la elaboración, aprobación y ejecución del correspondiente plan zonal específico.

h) La declaración de un área acústica como zona de situación acústica especial, así como la adopción y ejecución de las correspondientes medidas correctoras específicas.

i) La delimitación de las zonas tranquilas en aglomeraciones y zonas tranquilas en campo abierto.

2. En relación con las infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y portuarias de competencia estatal, la competencia para la realización de las actividades enumeradas en el apartado anterior, con excepción de la aludida en su párrafo c), corresponderá a la Administración General del Estado.

3. En relación con las obras de interés público, de competencia estatal, la competencia para la realización de la actividad aludida en el párrafo d) del apartado 1 corresponderá a la Administración General del Estado.

4. En los restantes casos:

a) Se estará, en primer lugar, a lo que disponga la legislación autonómica.

b) En su defecto, la competencia corresponderá a la comunidad autónoma si el ámbito territorial del mapa de ruido de que se trate excede de un término municipal, y al ayuntamiento correspondiente en caso contrario.

Para el caso que nos ocupa, la autovía A-601, al ser de titularidad autonómica, le corresponde a la Junta de Castilla y León la realización y ejecución del mapa estratégico

de ruido según las atribuciones conferidas en el Art. 4 mencionado, el cual está incluido en el Documento “Mapas Estratégicos de Ruido de las Carreteras de la Red Regional de Castilla y León”, realizado en septiembre de 2017.

Independientemente de la entidad pública o privada que realice cualquiera de las actividades mencionadas, conviene siempre el envío al Ministerio para la Transición Ecológica de los datos geoespaciales correspondientes a los mapas estratégicos de ruido (MER), que aun no siendo obligatorio, si bien el Ministerio y la Comisión Europea recomiendan que se aporten estos datos con el objeto de centralizar la información y facilitar la descargar de los archivos comprimidos (.zip), que contienen las isófonas y datos tal y como han sido recibidos en el Ministerio procedentes de las instituciones responsables de la elaboración y aprobación de los mapas estratégicos de ruido.

En el caso de que los archivos recibidos hayan seguido las especificaciones técnicas de los datos geoespaciales contenidas en el documento “Instrucciones para la entrega de datos asociados a los Mapas Estratégicos de Ruido de la Tercera Fase” (Abril 2015), son además comunicados a la Comisión Europea. (http://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Instrucciones-3FASE_Abril2015.pdf) .

a) Obtenidos a partir del Sistema de Información sobre contaminación Acústica (SICA) (Infraestructuras existentes)

A través del Sistema de Información sobre Contaminación Acústica (SICA), perteneciente al Ministerio para la Transición Ecológica (<http://sicaweb.cedex.es/datos-geoespaciales-fase3.php>) , se permite la descarga de los Mapas Estratégicos de Ruido (MER), los cuales a partir de la Directiva 2002/49/CE, se definen como un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido de una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona, o lo que es lo mismo son mapas estratégicos que contienen la información sobre la emisión de los niveles sonoros y sobre la población expuesta además de otros datos. Ver Figura 23. Obtención de datos relativos a emisión de ruidos.



Figura 23. Obtención de datos relativos a emisión de ruidos

b) No hay datos sobre emisiones de ruidos. (Infraestructuras de nueva ejecución)

Para los casos de infraestructuras de nueva creación, hay que realizar el correspondiente estudio sobre la emisión de ruidos cuya estimación se basa en la aplicación de modelos matemáticos predictivos en el que el cálculo del sonido emitido por los vehículos que transitan por una carretera se realiza mediante la aplicación como ya se ha enunciado, del método de cálculo francés “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”. Este procedimiento de cálculo de los niveles sonoros emitidos por el tráfico en las inmediaciones de una vía, tiene en cuenta los efectos meteorológicos y obstáculos que pudieran influir sobre la propagación.

Los cálculos se realizan a partir de los datos de tráfico obtenidos a partir de estaciones de aforo, debidamente elaborados, así como los datos referentes a la orografía del terreno, edificios, trazado de la vía, plataforma de las carreteras, ejes de las carreteras y el tráfico.

Los modelos matemáticos utilizados por el software comercial existente en la actualidad, utilizan mallas de cálculo de tamaño 30 x 30 m, tal y como marca el R.D 1367/2007 así como la Directiva Europea 2002/49/CE, obteniendo de tal forma, un extenso conjunto de puntos con valores de ruido que son utilizados para la representación gráfica de las curvas isófonas componiendo de esta forma un mapa de

ruido. Estos mapas de ruido diferenciarán tres períodos, de forma que se represente el periodo diurno (12 horas comprendidas entre las 7:00. y las 19:00), período vespertino (4 horas comprendidas entre las 19:00 y las 23:00) y período nocturno (8 horas comprendidas entre las 23:00 y las 7:00 del día siguiente).

4.1.4. Datos sobre topografía del terreno

Los datos utilizados para la representación de la orografía del terreno se obtienen a partir de la Cartografía topográfica básica de Castilla y León a escala 1/5000, la cual, consta de distintas capas cuya información recoge, altimetría, hidrografía, cubierta terrestre, edificaciones y construcciones, servicios e instalaciones, red de transportes, nombres geográficos y elementos auxiliares. Su obtención se realiza a partir de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Junta de Castilla y León (<https://cartografia.jcyl.es/web/es/datos-servicios/mapa-topografico-15000.html>) y cuyo sistema de referencia espacial es ETRS89 UTM30N . La descarga de los datos se hace por provincias a través del enlace directo <http://opendata.jcyl.es/ficheros/carto/mapacyl/mapacyl5/> . Ver Figura 24. Obtención de datos relativos topografía del terreno.

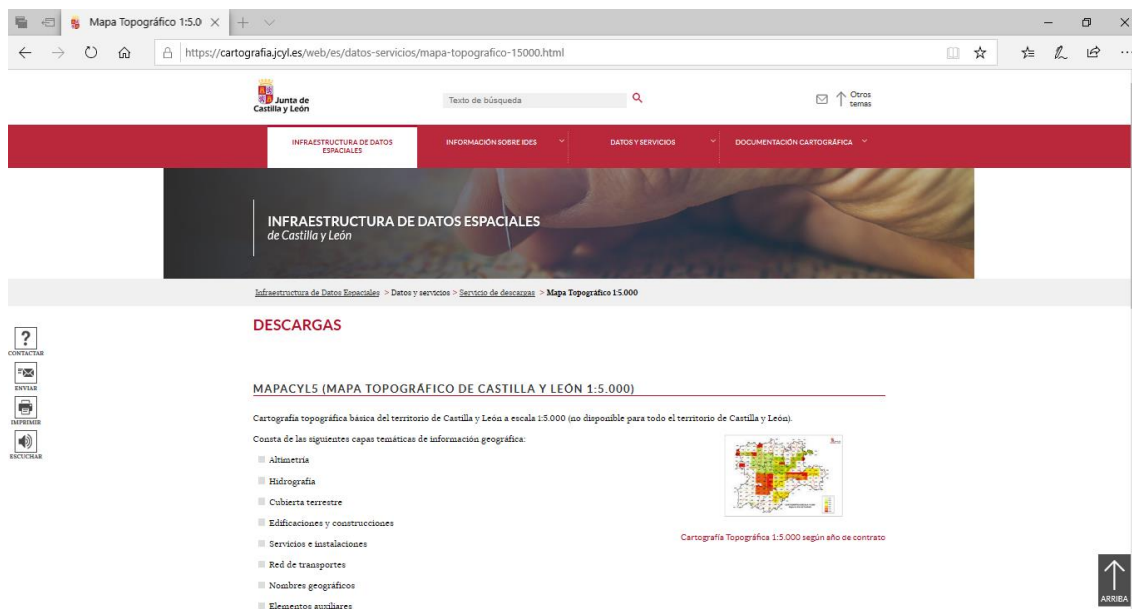


Figura 24. Obtención de datos relativos topografía del terreno

4.1.5. Datos sobre usos del suelo

Como se puede comprobar a través del catálogo de información geográfica de la infraestructura de datos espaciales de la Junta de Castilla y León, no se dispone de datos descargables de usos del suelo, solamente se dispone de Servicio Web de visualización de mapas, conforme al estándar WMS-OGC, que recoge el tema de uso del suelo (tema 4, Anexo III de Directiva INSPIRE: LU - Land Use) a través del siguiente enlace <https://idecyl.icyl.es/geoserver/lu/wms?>.

Sin embargo, existen datos descargables en cuanto a las categorías y clases de suelo a través del enlace <https://idecyl.icyl.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/search?facet.q=inspireThemeURI%2Fhttp%253A%252F%252Finspire.ec.europa.eu%252Ftheme%252Fflu>, donde se pueden obtener distintas capas en formato .shp que identifican y representan cartográficamente las distintas categorías y clases de suelo urbanístico de Castilla y León, que aparecen delimitadas en la normativa vigente de planeamiento urbanístico. Ver Figura 25. Obtención de datos relativos a categorías y usos del suelo.

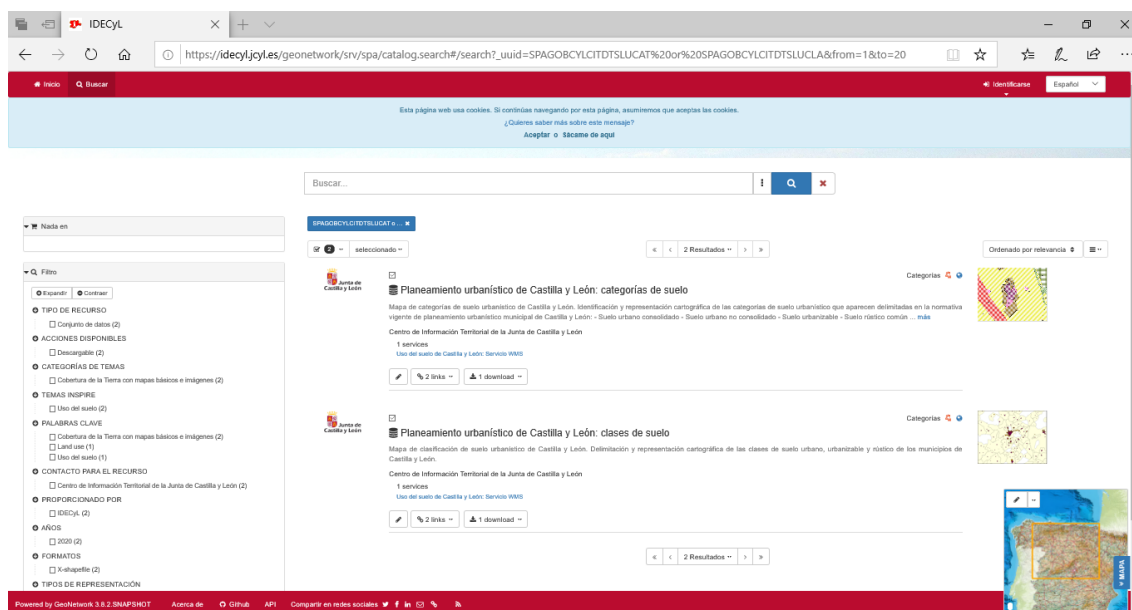


Figura 25. Obtención de datos relativos a categorías y usos del suelo

4.1.6. Datos sobre cobertura del suelo

El Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE) dependiente del Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento) tiene como objetivo el integrar la información de las Bases de Datos de coberturas y usos del suelo

de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado. Para el caso que nos ocupa, podemos obtener los datos sobre cobertura y usos del suelo a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Junta de Castilla y León a partir del enlace <https://cartografia.jcyl.es/web/es/datos-servicios/siose.html> . Ver Figura 26. Obtención de datos relativos a coberturas y usos del suelo

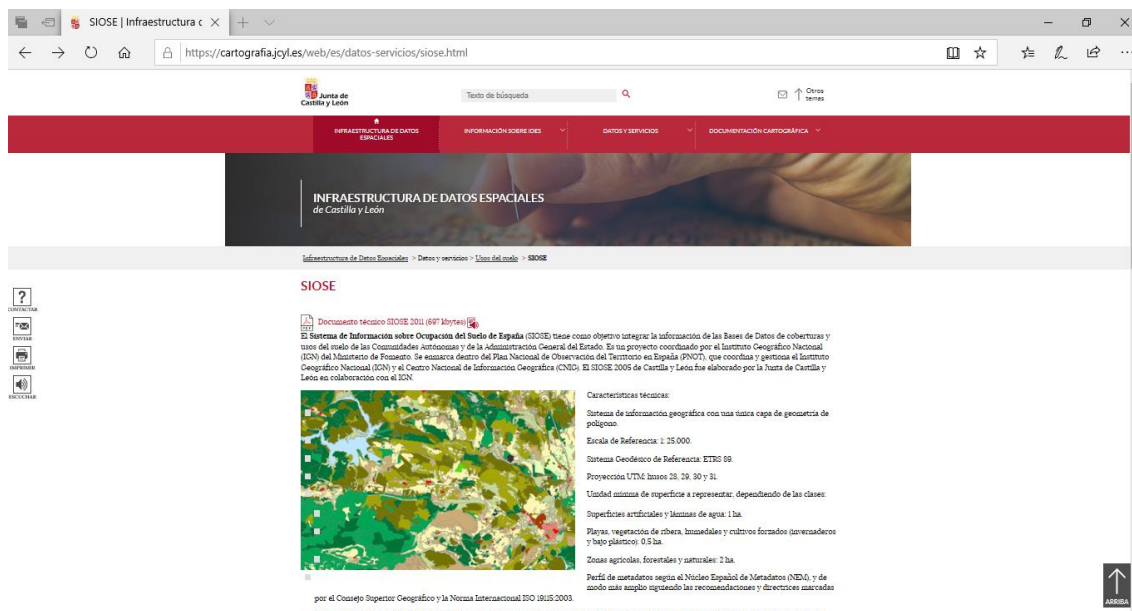


Figura 26. Obtención de datos relativos a coberturas y usos del suelo

4.1.7. Datos sobre cartografía catastral

Los datos de cartografía urbana se obtienen de la sede electrónica del catastro, el cual es un registro administrativo dependiente del Ministerio de Hacienda en el que se describen los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales entre las que se encuentran la localización y la referencia catastral, la superficie, el uso o destino, la clase de cultivo o aprovechamiento entre otras. (<https://www.sedecatastro.gob.es/Accesos/SECAccDescargaDatos.aspx>), a través del Servicio de descarga de cartografía vectorial se puede descargar la cartografía catastral por municipio en formato Shapefile, incluyendo separadamente las diferentes capas de la cartografía catastral las cuales incluyen capas con los puntos de altimetría con cota y puntos de las redes geodésicas y topográficas, descripción de los códigos de vías de comunicación e hidrografía, subparcelas urbanas que representan los volúmenes edificadas dentro de una parcela, ejes de elementos lineales (calles, carreteras), elementos cartográficos lineales, elementos cartográficos puntuales, rótulos del mapa, hojas de división de la cartografía urbana,

límites administrativos (de municipio, de suelo de naturaleza urbana, etc) e identificación de cada una de las zonas con cartografía diferente.

En este caso, y dado el ámbito del presente TFM, se ha procedido a la descarga de la cartografía catastral mediante certificado electrónico de la información correspondiente al municipio de Tudela de Duero. Ver Figura 27. Obtención de datos relativos a la información catastral.

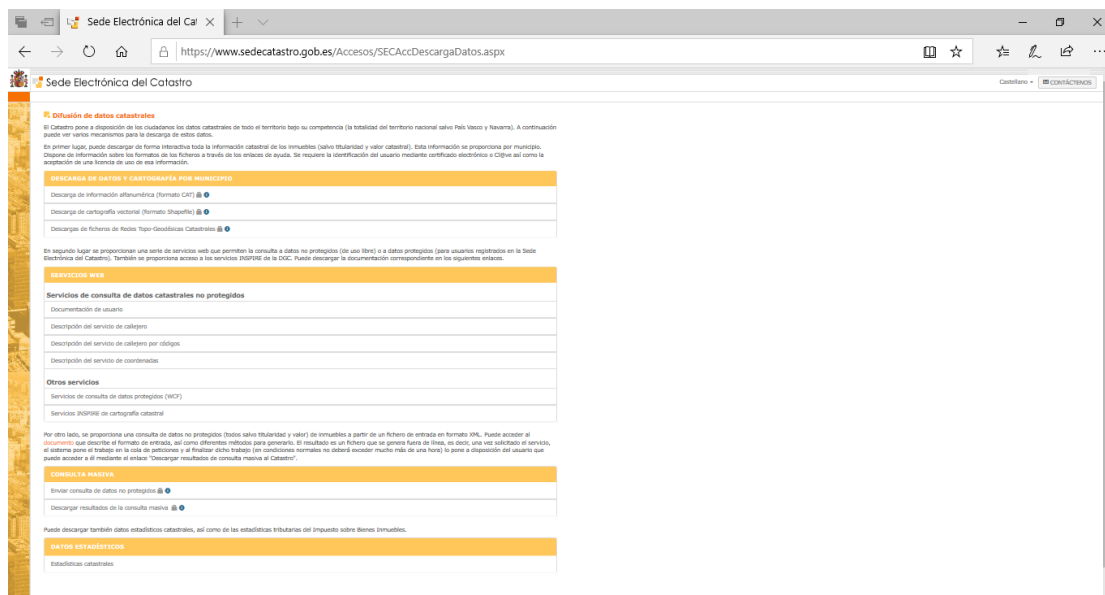


Figura 27. Obtención de datos relativos a la información catastral

4.1.8. Datos sobre unidades administrativas

Dado que la extensión geográfica del objeto de aplicación del presente TFM, está limitada por un término municipal, es necesaria conocer la delimitación administrativa del mismo, por lo que a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Junta de Castilla y León, es posible obtener la representación cartográfica de las unidades administrativas municipales oficiales de Castilla y León mediante la delimitación administrativa de los municipios de Castilla y León a partir de las líneas-límite oficiales del Instituto Geográfico Nacional (IGN). (<https://idecyl.jcyl.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/SPAGOB CYLCITD TSAULMR>) . Ver Figura 28. Obtención de datos relativos a la información catastral

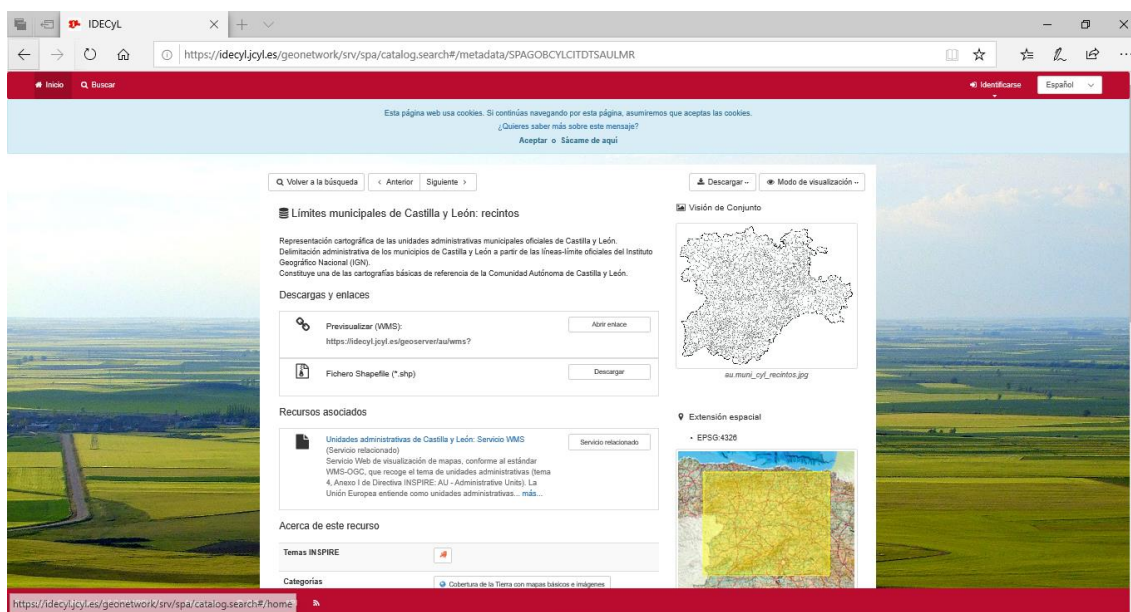


Figura 28. Obtención de datos relativos a la información catastral

Como se ha mencionado, los datos descargados se ordenan entorno a una base de datos gráfica o geodatabase de ArcGIS (<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/geodatabases/overview/what-is-a-geodatabase.htm>), la cual agrupará cada uno de los conjuntos de datasets geográficos obtenidos y se almacenarán en una carpeta común denominada “Datos Iniciales”

Esta geodatabase, es una estructura de datos nativa que utiliza el software ArcGIS, siendo el formato de datos primario para la edición y la administración de los mismos, por tanto, es el almacén físico de la información geográfica que se está usando, disponiendo además de un modelo de información completo para representar y administrar la información geográfica utilizada que se implementa como una serie de tablas, las cuales almacenan las clases de entidad y sus atributos.

La estructura de la geodatabase o base de datos gráfica quedará organizada, por tanto, de la siguiente forma como se puede comprobar en la Figura 29. Estructura de la BBDD gráfica definida en ArcGIS PRO para el TFM.

- CONSTRU: contiene la información relativa a la geolocalización, geometría y atributos de la información catastral del municipio del área de interés es una capa de entidades tipo polígono.

- Lim_Prov_Valladolid: incluye la información sobre el límite administrativo de la provincia de Valladolid en una capa de entidades tipo línea.
- MER_Ctra_A_601: comprende la información geoespacial que define el Mapa Estratégico de Ruido concerniente a la vía de comunicación en estudio dentro del término municipal de Tudela de Duero en una capa de entidades tipo polígono.
- Red_Viaria_Lineas: contiene la información relativa a la geometría y sus atributos de las carreteras existentes en el ámbito de actuación en una capa de entidades tipo línea
- SIOSE_2014_Zona_Interes: contiene la información relativa a la geolocalización, geometría y atributos de la cobertura del suelo. Se trata de una capa de entidades tipo polígono
- Tudera_de_Duero_Ctra: contiene la información relativa a la geolocalización, geometría y atributos de las líneas que delimitan las unidades administrativas del ámbito de actuación. Se trata de una capa de entidades tipo línea.
- Se añade un dataset denominado “Capas_aux”, que será utilizado para el guardado de capas intermedias de cálculo, es decir, capas de entidades que son resultados de un determinado proceso que serán utilizadas como datos para otros procesos. En cuanto a las actualizaciones relativas a los datos de las capas que componen la BBDD se estima que pueden realizarse de forma anual teniendo solamente en cuenta las posibles variaciones que puedan tener los datos catastrales.

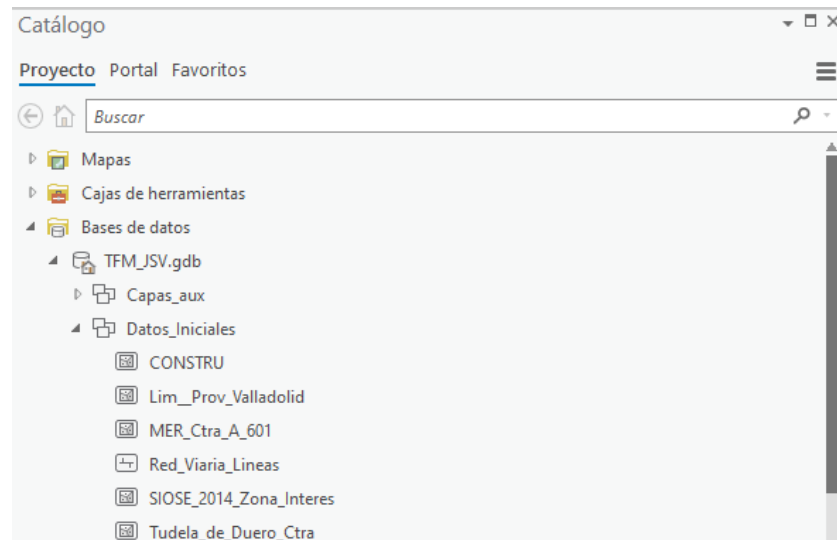


Figura 29. Estructura de la BBDD gráfica definida en ArcGIS PRO para el TFM

Se realiza la comprobación de la calidad de los datos recopilados para aquellos que son esenciales para la finalidad del proyecto, como son en este caso los datos catastrales, aunque al tener un origen de la Junta de Castilla y León y la Sede electrónica del Catastro se considera que tienen implícitamente una cierta calidad.

4.2. Consideraciones previas

Indicar que para el desarrollo del presente TFM, se han obtenido los mapas estratégicos de ruido relativos a la carretera A-601 realizados la Junta de Castilla y León, en cumplimiento de lo establecido al respecto en la Directiva 2002/49/CE de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental, en la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido y en los dos Reales Decretos que desarrollan dicha ley (RD 1513/2005 y RD 1367/2007) y en la Ley 5/2009 de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, en el enlace web <http://sicaweb.cedex.es/datos-geoespaciales-fase3.php>, los cuales y como se ha indicado se han realizado teniendo en cuenta las condiciones de tráfico de la vía.

Dentro de los distintos índices de ruido mostrados en un mapa estratégico de ruido se ha optado por tomar como índice de ruido emisor de referencia el índice L_{den} , ya que como se verá más adelante refleja una media ponderada de los niveles de ruido durante las 24 h del día. Sin embargo, en el caso del índice de ruido límite de inmisión o umbral de referencia, se ha escogido el que hace referencia al período nocturno, obteniendo así unas diferencias entre los niveles de ruido emitidos por la vía de comunicación y los

niveles de ruido soportados por los edificios muy amplificada, e incluso haciéndonos estar más del lado de la seguridad.

En la Figura 30. Vista Mapa Estratégico de Ruido para Ctra. A-601 a su paso por el TTMM de Tudela de Duero, se muestra el índice de ruido L_{den} (día-tarde-noche) para la zona de interés o de estudio.

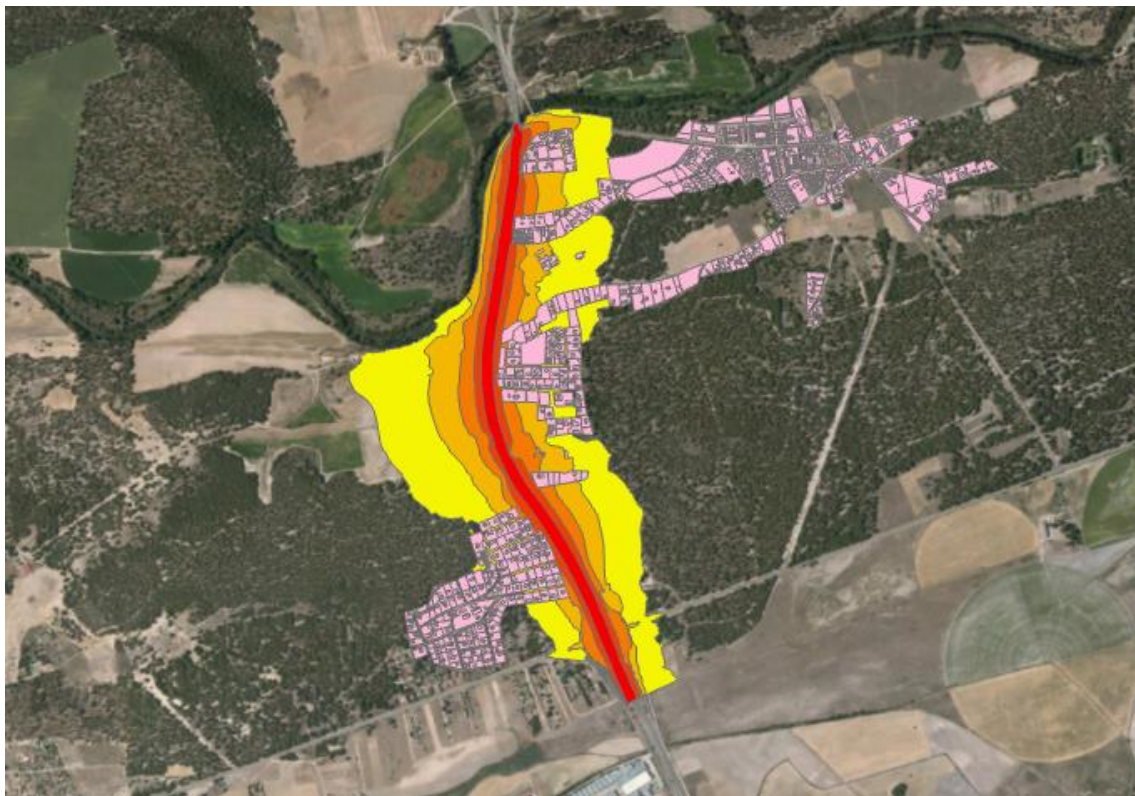


Figura 30. Vista Mapa Estratégico de Ruido para Ctra. A-601 a su paso por el TTMM de Tudela de Duero

Reseñar que para realización del análisis espacial mencionado se va a obviar la utilización del citado mapa estratégico, debido a las irregularidades en las distintas curvas isófonas, que conlleva continuamente a la parada del software debido a la falta de capacidad del equipo informático utilizado cuando se ejecutan determinados geoprocesos, no siendo incluso posible la elaboración de la escena 3D del mapa, por lo que se sustituye por un nuevo mapa estratégico de ruido editado, además se ha detectado la insuficiencia del software a la hora de realizar el geoproceso denominado “Zona de Influencia 3D” para distancias mayores de 140 m.

Así mismo, para una mejor visualización de los resultados se adopta una altura de pantalla acústica de 10 m.

La edición del Mapa estratégico de ruido de la A-601 ha consistido en la realización de las distintas curvas isófonas de forma que todos sus puntos sean equidistantes al eje de la vía, no considerando por tanto ningún tipo de reflexiones, ni refracciones del ruido en edificios u otros obstáculos, así como un terreno plano, de esta forma se consiguen unos tiempos de análisis espacial razonables y permitiendo una presentación de resultado en una escena 3D muy didáctica. A este nuevo mapa de ruido se le ha denominado “Mapa Estratégico de Ruido Editado”. Por tanto, se desprecia en el caso de estudio el uso tanto del MER teórico o descargado como los datos relativos al tráfico de la vía de comunicación que han servido para la elaboración del citado mapa estratégico de ruido.

En la Figura 31.Comparación del Mapa Estratégico de Ruido de la A-601 y Mapa Estratégico de Ruido Teórico A-601, se pueden observar las diferencias existentes entre el MER original y el MER teórico realizado para la ejecución del TFM.

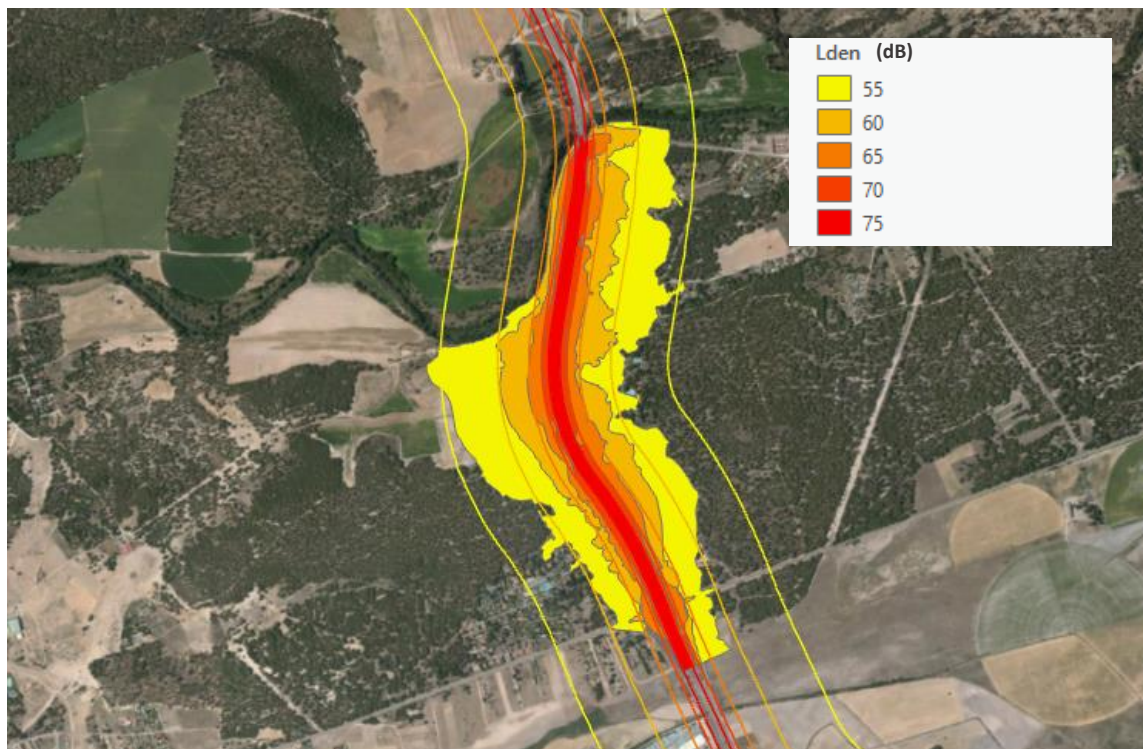


Figura 31.Comparación del Mapa Estratégico de Ruido de la A-601 y Mapa Estratégico de Ruido Teórico A-601

4.3. Zonificación acústica

La caracterización de la sensibilidad acústica de las zonas de distintos usos del área de interés se realiza mediante la aplicación de las disposiciones establecidas en la normativa vigente expuesta en el apartado 3. ANÁLISIS NORMATIVO

De la normativa en vigor anteriormente citada, en el artículo 5. Delimitación de los distintos tipos de áreas acústicas, del RD 1367/2007, se pueden **clasificar las áreas acústicas** en función del predominio del tipo de uso del suelo, de tal forma que se puede establecer una correlación o correspondencia entre los usos del suelo predominantes⁶ y la zonificación propuesta, quedando como se expone en la Tabla 2. Correlación entre Usos del Suelo y Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007

Usos del Suelo	Área acústica Predominio del suelo (Art. 5 RD 1367/2007)		Uso del Suelo Predominante
Residencial multifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial	Uso Residencial
Residencial unifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial	Uso Residencial
Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial	Uso Industrial
Equipamiento. Uso docente y sanitario	e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	Uso Docente y Sanitario
Equipamiento. Otros usos	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos
Deportivo	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos
Zonas Verdes	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos
Terciario y Comercial	d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c	Uso Terciario y Comercial
Servicios	d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c	Uso Terciario y Comercial
Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras	Uso Sist. Generales Transporte
Espacios Naturales	g	Espacios naturales que requieran una protección especial contra la contaminación acústica.	Espacio Natural
Rústico	h	Resto	Suelo Rústico

⁶ Arts. 10 - 16 de la Ley 5/1999, de 8 de abril, de Urbanismo de Castilla y León

Tabla 2. Correlación entre Usos del Suelo y Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007

Asimismo, en el artículo 8 de la Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, se **definen los tipos de sensibilidad para cada área acústica** en función del área acústica previamente establecida a partir de la aplicación del art. 5 del RD 1367/2007, por lo que también podemos establecer una relación entre las áreas acústicas según el RD 1367/2007 y la zonificación acústica de la Ley 5/2009, del Ruido de CyL. Ver Tabla 3. Correlación entre Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007 y Tipo de Área Acústica. Art. 8 Ley 5/2009, del Ruido de CyL.

Usos del Suelo	Área acústica Predominio del suelo (Art. 5 RD 1367/2007)		Uso del Suelo Predominante	Tipo de Área Acústica (Art. 8 de la Ley 5/2009)	
Residencial multifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial	Uso Residencial	Tipo II. Área Levemente Ruidosa	Área Levemente Ruidosa
Residencial unifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial	Uso Residencial	Tipo II. Área Levemente Ruidosa	Área Levemente Ruidosa
Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial	Uso Industrial	Tipo IV. Área Ruidosa	Área Ruidosa
Equipamiento. Uso docente y sanitario	e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	Uso Docente y Sanitario	Tipo I. Área Silencio	Área de Silencio
Equipamiento. Otros usos	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa
Deportivo	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa
Zonas Verdes	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa
Terciario y Comercial	d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c	Uso Terciario y Comercial	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa
Servicios	d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c	Uso Terciario y Comercial	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa
Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras	Uso Sist. Generales Transporte	Tipo V. Área Especialmente Ruidosa	Área Especialmente Ruidosa
Espacios Naturales	g	Espacios naturales que requieran una protección especial contra la contaminación acústica.	Espacio Natural	Tipo I. Área No Urbanizada. Espacio Natural	
Rustico	h	Resto	Suelo Rústico	Tipo VI. Área Rústica 7	

Tabla 3. Correlación entre Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007 y Tipo de Área Acústica. Art. 8 Ley 5/2009, del Ruido de CyL.

⁷ Se añade un nuevo tipo de zona acústica no existiendo en las clases definidas en el Art. 8 de la Ley 5/2009, del ruido de Castilla y León que engloba el suelo de Tipo Rústico.

Por otro lado, en cuanto a los objetivos de **calidad acústica a cumplir en las áreas acústicas exteriores** quedan definidas en el Art. 9 de la Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León. Por lo que los objetivos de calidad acústica marcados en el Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León, Anexo II para áreas urbanizadas nuevas (Ver Tabla 4. Valores Límite de niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas nuevas.), y existentes (Tabla 5. Valores Límite de Niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas existentes.) son,

Denominación Área Receptora	Índices de Ruido dB(A)			
	Valor Límite Ld (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Le (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Ln (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Lden (Anexo II Ley 5/2009)
Tipo I. Área Silencio	55	55	45	56
Tipo II. Área Levemente Ruidosa	60	60	50	61
Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	65	65	55	66
Tipo IV. Área Ruidosa	70	70	60	71
Tipo V. Área Especialmente Ruidosa				

Tabla 4. Valores Límite de niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas nuevas.

Denominación Área Receptora	Índices de Ruido dB(A)			
	Valor Límite Ld (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Le (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Ln (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Lden (Anexo II Ley 5/2009)
Tipo I. Área Silencio	60	60	50	61
Tipo II. Área Levemente Ruidosa	65	65	55	66
Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	70	70	65	73
Uso de Oficinas o servicios y comercial	73	73	63	74
Uso Recreativo y Espectáculos				
Tipo IV. Área Ruidosa	75	75	65	76
Tipo V. Área Especialmente Ruidosa				
Tipo I. Área No Urbanizada. Espacio Natural	55	55	45	56
Tipo VI. Área Rústica				

Tabla 5. Valores Límite de Niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas existentes.

Siendo,

Ld (Índice de ruido día): el índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo día, es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2:1987, determinado a lo largo de todos los períodos día de un año.

Le (Índice de ruido tarde): el índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo tarde, es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2:1987, determinado a lo largo de todos los períodos tarde de un año.

Ln (Índice de ruido noche): el índice de ruido correspondiente a la alteración del sueño, es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos noche de un año.

Lden (Índice de ruido día-tarde-noche): el índice de ruido asociado a la molestia global, es el nivel día-tarde-noche en dB ponderado A, y se determina mediante la fórmula siguiente:



$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

Y donde,

al día le corresponden 12 horas, a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas. La Consejería competente en materia de medio ambiente puede optar por reducir el período tarde en una o dos horas y alargar los períodos día y/o noche en consecuencia.

los valores horarios de comienzo y fin de los distintos periodos son 7:00-19:00, 19:00-23:00 y 23:00-7:00 (hora local). La Consejería competente en materia de medio ambiente podrá modificar la hora de comienzo del periodo día y, por consiguiente, cuándo empiezan la tarde y la noche.

Agrupando las correlaciones definidas en las tablas anteriores podemos resumir Áreas Acústicas, Tipos de Áreas de sensibilidad Acústica y Valores Límite de niveles sonoros ambientales para Áreas de Urbanización existentes en una única tabla. Tabla 6. Correlación de Usos del Suelo, Áreas Acústicas, Tipos de Áreas de sensibilidad Acústica y Valores Límite de niveles sonoros ambientales



Usos del Suelo	Área acústica Predominio del suelo (Art. 5 RD 1367/2007)		Uso del Suelo Predominante	Tipo de Área Acústica (Art. 8 de la Ley 5/2009)		Índices de Ruido dB(A)			
						Valor Límite Ld (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Le (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Ln (Anexo II Ley 5/2009)	Valor Límite Lden (Anexo II Ley 5/2009)
Residencial multifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial	Uso Residencial	Tipo II. Área Levemente Ruidosa	Área Levemente Ruidosa	65	65	55	66
Residencial unifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial	Uso Residencial	Tipo II. Área Levemente Ruidosa	Área Levemente Ruidosa	65	65	55	66
Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial	Uso Industrial	Tipo IV. Área Ruidosa	Área Ruidosa	75	75	65	76
Equipamiento. Uso docente y sanitario	e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	Uso Docente y Sanitario	Tipo I. Área Silencio	Área de Silencio	60	60	50	61
Equipamiento. Otros usos	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa	73	73	63	74
Deportivo	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa	70	70	65	73
Zonas Verdes	c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	Uso Recreativo y Espectáculos	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa	70	70	65	73
Terciario y Comercial	d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c	Uso Terciario y Comercial	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa	70	70	65	73
Servicios	d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al contemplado en c	Uso Terciario y Comercial	Tipo III. Área Tolerablemente Ruidosa	Área Tolerablemente Ruidosa	70	70	65	73
Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras	Uso Sist. Generales Transporte	Tipo V. Área Especialmente Ruidosa	Área Especialmente Ruidosa	Sin determinar			
Espacios Naturales	g	Espacios naturales que requieran una protección especial contra la contaminación acústica.	Espacio Natural	Tipo I. Área No Urbanizada. Espacio Natural	Área de Silencio. Espacios Naturales	55	55	45	56
Rústico	h	Suelo Rústico	Suelo Rústico	Tipo VI. Área Rústica ⁸	Área Rústica	Sin determinar			

Tabla 6. Correlación de Usos del Suelo, Áreas Acústicas, Tipos de Áreas de sensibilidad Acústica y Valores Límite de niveles sonoros ambientales

⁸ Se añade un nuevo tipo de Área Acústica no existiendo en las clases definidas en el Art. 8 de la Ley 5/2009, del ruido de Castilla y León que engloba el suelo de Tipo Rústico.

Para la realización de la zonificación acústica se siguen los criterios establecidos en el RD 1367/2007 de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 de 17 de noviembre del ruido, en el Anexo V. Criterios para determinar la inclusión de un sector del territorio en un tipo de área acústica.

La información sobre los Usos del Suelo, se obtiene de la Planificación Urbanística de cada uno de los municipios afectados por el estudio del presente TFM pudiéndose consultar a través del enlace https://servicios.jcyl.es/PlanPublica/default_plau.do. Para el caso que nos ocupa se asimilará que la cobertura del suelo marcada por el SIOSE⁹ (Sistema de Información de la Ocupación del Suelo de España) coincide con los usos del suelo establecidos por la Planificación Urbanística, de tal forma que teniendo en cuenta la Tabla 2. Correlación entre Usos del Suelo y Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007 y la Tabla 3. Correlación entre Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007 y Tipo de Área Acústica. Art. 8 Ley 5/2009, del Ruido de CyL., podemos correlacionar los Usos del Suelo con la Cobertura del suelo. Ver Tabla 7. Correlación Usos del Suelo (Planificación Urbanística), Cobertura del Suelo (SIOSE) y Área Acústica.

CODIIGE	Cobertura del Suelo	Usos del Suelo	Área Acústica (Predominio del suelo)	
111	Casco	Residencial multifamiliar / Residencial unifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial
112	Ensanche	Residencial multifamiliar / Residencial unifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial
113	Discontinuo	Residencial multifamiliar / Residencial unifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial
114	Zona verde urbana	Residencial multifamiliar / Residencial unifamiliar	a	Sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial
121	Instalación agrícola y/o ganadera	Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial
122	Instalación forestal	Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial
d123	Extracción minera	Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial
130	Industrial	Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial
140	Servicio dotacional	Equipamiento. Uso docente y sanitario	e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que

⁹ Tiene como objetivo integrar la información de las Bases de Datos de coberturas y usos del suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado, y según las categorías incluidas en la Ley 37/2003 de ruido.



CODIIGE	Cobertura del Suelo	Usos del Suelo	Área Acústica (Predominio del suelo)	
				requiera una especial protección contra la contaminación acústica.
150	Asentamiento agrícola y huerta	Industrial	b	Sector del territorio con predominio de suelo de Uso Industrial
161	Red viaria o ferroviaria	Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras
162	Puerto	Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras
163	Aeropuerto	Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras
171	Infraestructura de suministro	Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras
172	Infraestructura de residuos	Infraestructuras	f	Sectores del territorio afectados por sistemas generales de infraestructuras
210	Cultivo herbáceo	Rústico	h	Suelo Rústico
220	Invernadero	Rústico	h	Suelo Rústico
231	Frutal cítrico	Rústico	h	Suelo Rústico
232	Frutal no cítrico	Rústico	h	Suelo Rústico
233	Viñedo	Rústico	h	Suelo Rústico
234	Olivar	Rústico	h	Suelo Rústico
235	Otros cultivos leñosos	Rústico	h	Suelo Rústico
236	Combinación de cultivos leñosos	Rústico	h	Suelo Rústico
240	Prado	Rústico	h	Suelo Rústico
250	Combinación de cultivos	Rústico	h	Suelo Rústico
260	Combinación de cultivos con vegetación	Rústico	h	Suelo Rústico
311	Bosque de frondosas	Rústico	h	Suelo Rústico
313	Bosque mixto	Rústico	h	Suelo Rústico
312	Bosque de coníferas	Rústico	h	Suelo Rústico
320	Pastizal o herbazal	Rústico	h	Suelo Rústico
330	Matorral	Rústico	h	Suelo Rústico
340	Combinación de vegetación	Rústico	h	Suelo Rústico
351	Playa, duna o arenal	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
352	Roquedo	Rústico	h	Suelo Rústico
353	Temporalmente desarbolado por incendios	Rústico	h	Suelo Rústico
354	Suelo desnudo	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
411	Zona húmeda y pantanosa	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
412	Turbera	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
413	Marisma	Espacios Naturales	g	Espacio Natural

CODIIGE	Cobertura del Suelo	Usos del Suelo	Área Acústica (Predominio del suelo)	
414	Salina	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
514	Lámina de agua artificial	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
511	Curso de agua	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
512	Lago o laguna	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
513	Embalse	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
515	Mar	Espacios Naturales	g	Espacio Natural
516	Glaciar y/o nieve perpetua	Espacios Naturales	g	Espacio Natural

Tabla 7. Correlación Usos del Suelo (Planificación Urbanística), Cobertura del Suelo (SIOSE) y Área Acústica

Por tanto, relacionando finalmente la Tabla 6. Correlación de Usos del Suelo, Áreas Acústicas, Tipos de Áreas de sensibilidad Acústica y Valores Límite de niveles sonoros ambientales y la Tabla 7. Correlación Usos del Suelo (Planificación Urbanística), Cobertura del Suelo (SIOSE) y Área Acústica, se pueden establecer los Valores Límite de niveles sonoros ambientales en cada polígono con una cobertura del suelo determinada. Ver Tabla 8. Relación Coberturas de Suelo / Áreas acústicas / Áreas sensibilidad acústica / Límites inmisión ruido

OBJECT ID	CODIIGE	Descripción	Area_acustica_Art7_Ley_37_2003	Tipo_Area_Acustica_Art8_Ley_5_2009_Cyl	Valor_Limite_Ld_AnexoII_Ley_37_2003	Valor_Limite_Le_AnexoII_Ley_37_2003	Valor_Limite_Ln_AnexoII_Ley_37_2003	Valor_Limite_Lden_AnexoII_Ley_37_2003
1	111	Casco	a	II	65	65	55	66
2	112	Ensanche	a	II	65	65	55	66
3	113	Discontinuo	a	II	65	65	55	66
4	114	Zona verde urbana	a	II	65	65	55	66
5	121	Instalación agrícola y/o ganadera	b	IV	75	75	65	76
6	122	Instalación forestal	b	IV	75	75	65	76
7	123	Extracción minera	b	IV	75	75	65	76
8	130	Industrial	b	IV	75	75	65	76
9	140	Servicio dotacional	c	III	70	70	65	73
10	150	Asentamiento agrícola y huerta	b	IV	75	75	65	76
11	161	Red viaria o ferroviaria	f	V	s/d	s/d	s/d	s/d
12	162	Puerto	f	V	s/d	s/d	s/d	s/d



OBJECT ID	CODIIGE	Descripción	Area_acustica_Art7_Ley_37_2003	Tipo_Area_Acustica_Art8_Ley_5_2009_Cyl	Valor_Limite_Ld_Anexo II_Ley_37_2003	Valor_Limite_Le_Anexo II_Ley_37_2003	Valor_Limite_Ln_Anexo II_Ley_37_2003	Valor_Limite_Lden_Ane xoll_Ley_37_2003
13	163	Aeropuerto	f	V	s/d	s/d	s/d	s/d
14	171	Infraestructura de suministro	f	V	s/d	s/d	s/d	s/d
15	172	Infraestructura de residuos	f	V	s/d	s/d	s/d	s/d
16	210	Cultivo herbáceo	b	IV	75	75	65	76
17	220	Invernadero	b	IV	75	75	65	76
18	231	Frutal cítrico	b	IV	75	75	65	76
19	232	Frutal no cítrico	b	IV	75	75	65	76
20	233	Viñedo	b	IV	75	75	65	76
21	234	Olivar	b	IV	75	75	65	76
22	235	Otros cultivos leñosos	b	IV	75	75	65	76
23	236	Combinación de cultivos leñosos	b	IV	75	75	65	76
24	240	Prado	b	IV	75	75	65	76
25	250	Combinación de cultivos	b	IV	75	75	65	76
26	260	Combinación de cultivos con vegetación	b	IV	75	75	65	76
27	311	Bosque de frondosas	h	I	60	60	50	61
28	313	Bosque mixto	h	I	60	60	50	61
29	312	Bosque de coníferas	h	I	60	60	50	61
30	320	Pastizal o herbazal	h	I	60	60	50	61
31	330	Matorral	h	I	60	60	50	61
32	340	Combinación de vegetación	h	I	60	60	50	61
33	351	Playa, duna o arenal	h	I	60	60	50	61
34	352	Roquedo	h	I	60	60	50	61
35	353	Temporalmente desarbolado por incendios	h	I	60	60	50	61
36	354	Suelo desnudo	h	I	60	60	50	61
37	411	Zona húmeda y pantanosa	h	I	60	60	50	61
38	412	Turbera	h	I	60	60	50	61
39	413	Marisma	h	I	60	60	50	61
40	414	Salina	h	I	60	60	50	61

OBJECT ID	CODIIGE	Descripción	Area_acustica_Art7_Ley_37_2003	Tipo_Area_Acustica_Art8_Ley_5_2009_Cyl	Valor_Limite_Id_Anexo II_Ley_37_2003	Valor_Limite_Le_Anexo II_Ley_37_2003	Valor_Limite_Ln_Anexo II_Ley_37_2003	Valor_Limite_Lden_Anexo II_Ley_37_2003
41	514	Lámina de agua artificial	h	l	60	60	50	61
42	511	Curso de agua	h	l	60	60	50	61
43	512	Lago o laguna	h	l	60	60	50	61
44	513	Embalse	h	l	60	60	50	61
45	515	Mar	h	l	60	60	50	61
46	516	Glaciar y/o nieve perpetua	h	l	60	60	50	61

Tabla 8. Relación Coberturas de Suelo / Áreas acústicas / Áreas sensibilidad acústica / Límites inmisión ruido

4.4. Creación Mapa Base, Mapa 2D y Escena 3D

Los mapas 2D, representan la realidad incluyendo la información necesaria que permita una comprensión mejor del mismo. En el caso de tener que incorporar una tercera dimensión, se emplean curvas de nivel, sombreados y/o elementos de la vista de perfil.

Hay ocasiones en los que la visualización del eje Z es muy importante, y por tanto el software que se utiliza (ArcGIS PRO) permite dar coordenadas Z a los elementos que componen el mapa ayudando a que los datos se puedan interpretar mejor, es lo que se conoce como una “Escena 3D”

Como la ayuda del propio software indica (<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/map-authoring/scenes.htm>), “al trabajar con 3D puede incorporar elementos del mundo real al contenido y resaltar elementos de influencia, como las ondulaciones del terreno y la extensión 3D de las entidades, como árboles o edificios. Además, la visualización de contenido SIG cuantitativo, como la población, la temperatura o las ocurrencias relativas de un evento, normalmente se puede comunicar de una forma más efectiva en una vista 3D”.

4.4.1. Creación de mapa base

Un mapa base sirve como mapa de referencia en el que se superponen los datos de las capas y se visualiza la información geográfica. Es la base de los mapas que se utilizarán, proporcionando un contexto geográfico para el contenido que se mostrará.

Con los datos obtenidos e insertados en la base de datos gráfica, dentro de la carpeta “Datos iniciales” se crea un Mapa Base que recoge los datos de forma que sirvan para dar un contexto geográfico al trabajo. Ver Figura 32. Creación de un mapa base.

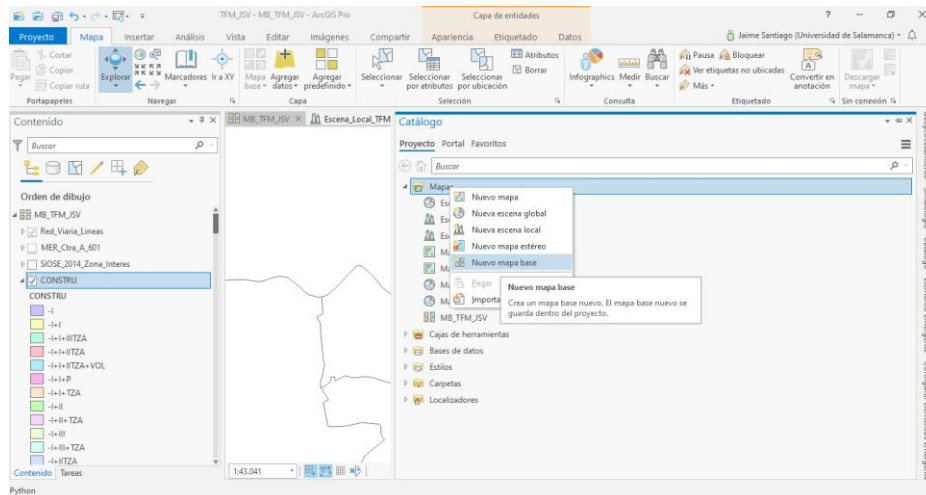


Figura 32. Creación de un mapa base

En el mapa base generado, al que se le ha denominado “MB_TFM_JSV” se le irán agregando a la tabla de contenido de ArcGIS PRO todos los datos iniciales que se han dispuesto, para su posterior uso en distintos tipos de análisis. Ver Figura 33. Mapa base generado con los datos iniciales.

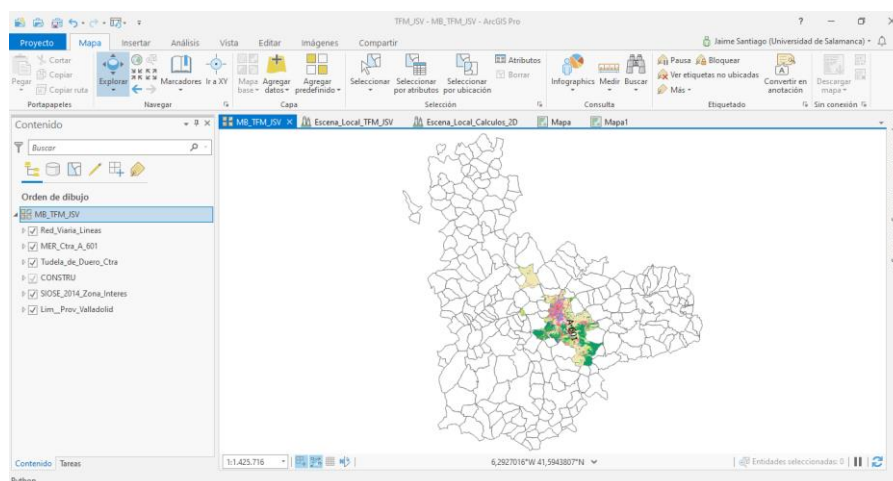


Figura 33. Mapa base generado con los datos iniciales

Además, se generan los metadatos correspondientes al citado mapa base. Ver Figura 34. Cuadro de dialogo para la creación / edición de Metadatos

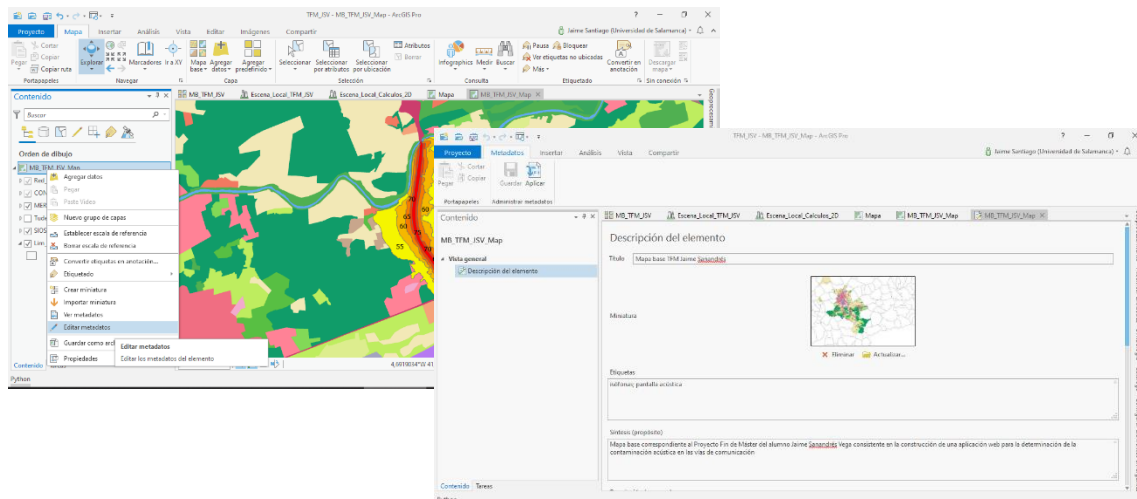


Figura 34. Cuadro de diálogo para la creación / edición de Metadatos

En la incorporación de los datos correspondientes a las coberturas de suelo, se ha establecido la simbología concreta para cada tipo de dato, según el estilo descargado junto con los propios datos. En la Figura 35. Datos sobre cobertura de suelo con simbología aplicada, se representan los datos correspondientes al área de estudio en el TTMM de Tudela de Duero.

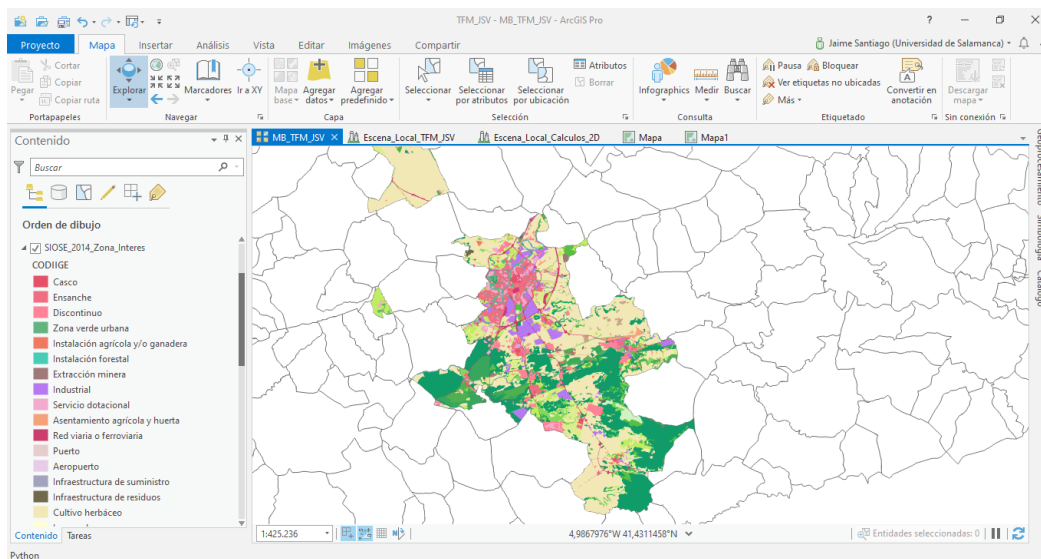


Figura 35. Datos sobre cobertura de suelo con simbología aplicada

En la Figura 36. Datos sobre límites administrativos, se representan los límites administrativos, tanto de la provincia de Valladolid en sombreado amarillo como una

parte del término municipal de Tudela de Duero, representado en color rojo donde se encuentra la zona de interés.

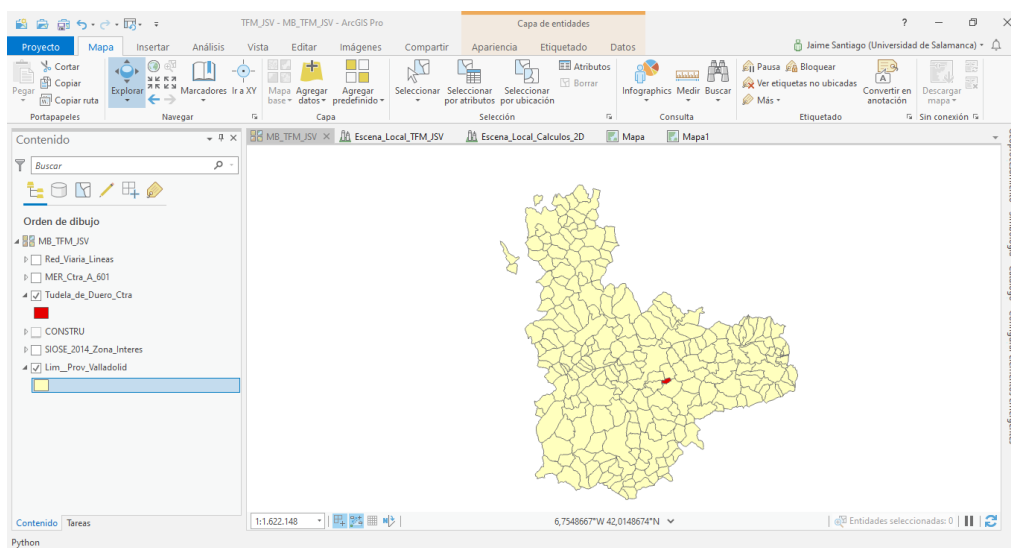


Figura 36. Datos sobre límites administrativos

En la Figura 37. Datos sobre Red Viaria en la zona de interés, se observan los datos correspondientes a las vías de comunicación existentes en la zona de interés donde se representa la carretera de estudio, A-601. La simbología adoptada en este caso ha sido la correspondiente al modelo de datos de la JCyL 1:5000

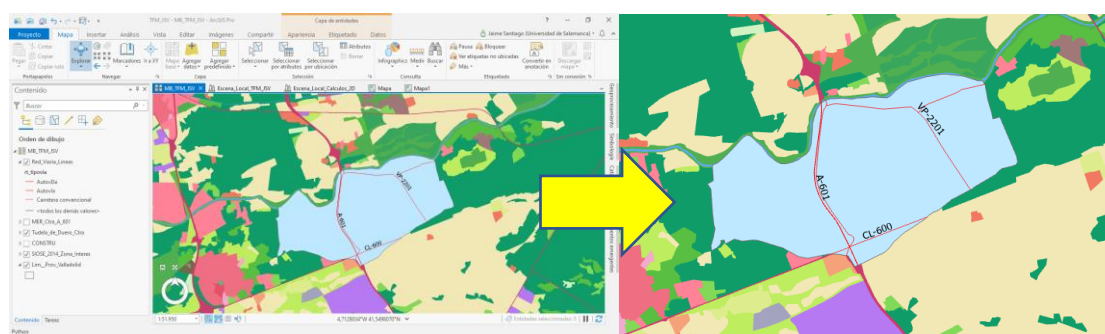


Figura 37. Datos sobre Red Viaria en la zona de interés

En la Figura 38. Datos correspondientes al Catastro de la zona de interés, se muestran los datos correspondientes a la información catastral de los edificios de las áreas urbanas existentes en la zona de interés. La simbología de esta capa de entidades se ha adoptado en función del valor del atributo denominado “CONSTRU” que define el número de plantas de cada una de las parcelas.

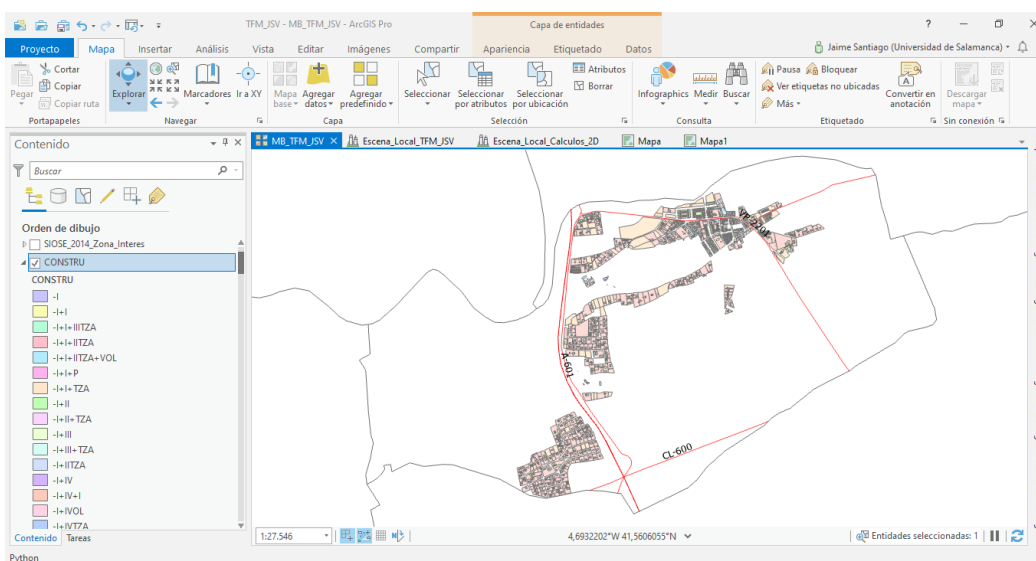


Figura 38. Datos correspondientes al Catastro de la zona de interés

En la Figura 39. Mapa Estratégico de Ruido correspondiente a la A-601 en el TTMM de Tudela de Duero, se muestra el mapa estratégico de ruido elaborado por la Junta de Castilla y León correspondiente a la vía de comunicación en estudio, donde se le ha incorporado simbología definiendo un mapa de calor con los niveles de ruido emitidos por la vía.

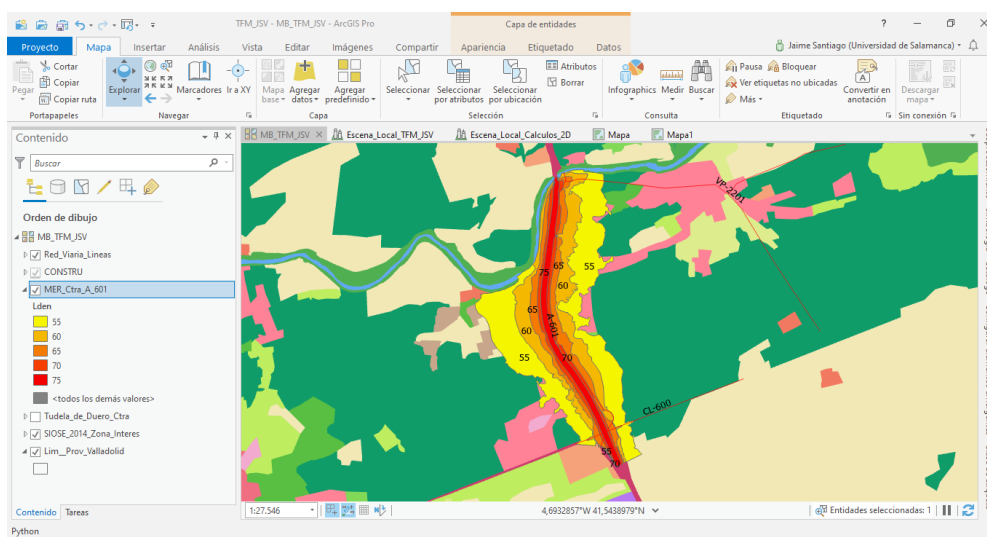


Figura 39. Mapa Estratégico de Ruido correspondiente a la A-601 en el TTMM de Tudela de Duero

Reseñar que en todas las capas que se han ido añadiendo al mapa base se les ha dotado de los correspondientes metadatos (Ver Figura 40. Metadatos incorporados a las capas de entidades que contienen los datos iniciales, así como establecido el orden de visualización (Ver Figura 41. Orden de Visualización establecido en el mapa base).



Figura 40. Metadatos incorporados a las capas de entidades que contienen los datos iniciales

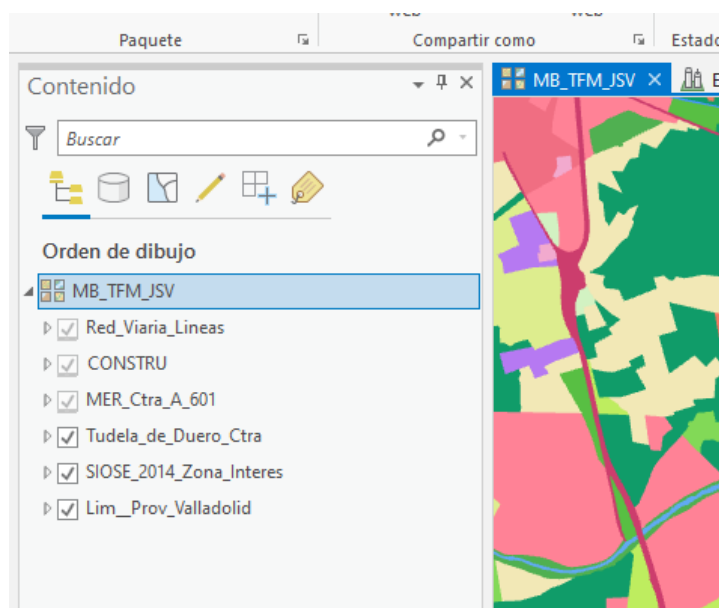


Figura 41. Orden de Visualización establecido en el mapa base

Para la realización de análisis espacial necesario sobre los datos del mapa base creado, ArcGIS PRO dispone de una gran cantidad de herramientas de geoprocésamiento (ver Figura 42. Cajas de Herramientas de ArcGIS PRO), que ayudan a la realización de distintos cálculos (<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>), sin embargo y dado el proceso de trabajo

descrito con anterioridad, no hay ninguna herramienta que por sí misma se adapte lo suficiente para realizar todo el análisis necesario de forma completa.

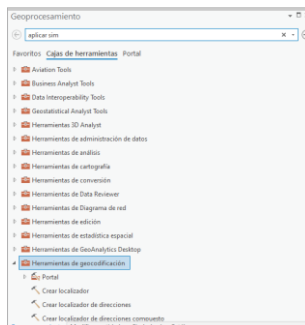


Figura 42. Cajas de Herramientas de ArcGIS PRO

Para solventar este escollo, se recurre el diseño y creación mediante la herramienta “Model Builder¹⁰” de distintos modelos¹¹ que reúnen un conjunto de distintas herramientas de geoprocésamiento, que ejecutados en un determinado orden (ver Figura 43. Orden de ejecución de modelos creados), ejecutan la realización del análisis espacial necesario que permiten llegar a los objetivos específicos marcados, como son el obtener las capas de entidades que definen la posible ubicación de la pantalla acústica, isófonas iniciales, isófonas finales, capas que determinan los niveles sonoros soportados por los edificios en un estado previo y posterior a la colocación de la pantalla acústica, así como la ejecución del modelado de la escena 3D donde se visualizan los resultados obtenidos. Reseñar que los modelos diseñados se encuentran desarrollados de una forma completa en los apéndices existentes en la presente memoria.

Los modelos de herramientas de geoprocésamiento diseñadas, se crean de forma que, al ejecutarla desde el modo editor, se realizan los cálculos necesarios y se visualizan sus resultados, es decir, desde el escritorio del propio PC, pero además también se comprueba el uso de la herramienta de geoprocésamiento diseñada por parte de cualquier usuario de la misma.

¹⁰ Model Builder es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocésamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada. Model Builder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo.

¹¹ Se recurre a la solución de la realización de varios modelos debido a que durante la ejecución de las distintas herramientas en las que se encuentra el geoproceso denominado “Entidades de reglas de City Engine” se produce una parada no controlada en la ejecución de la propia herramienta.

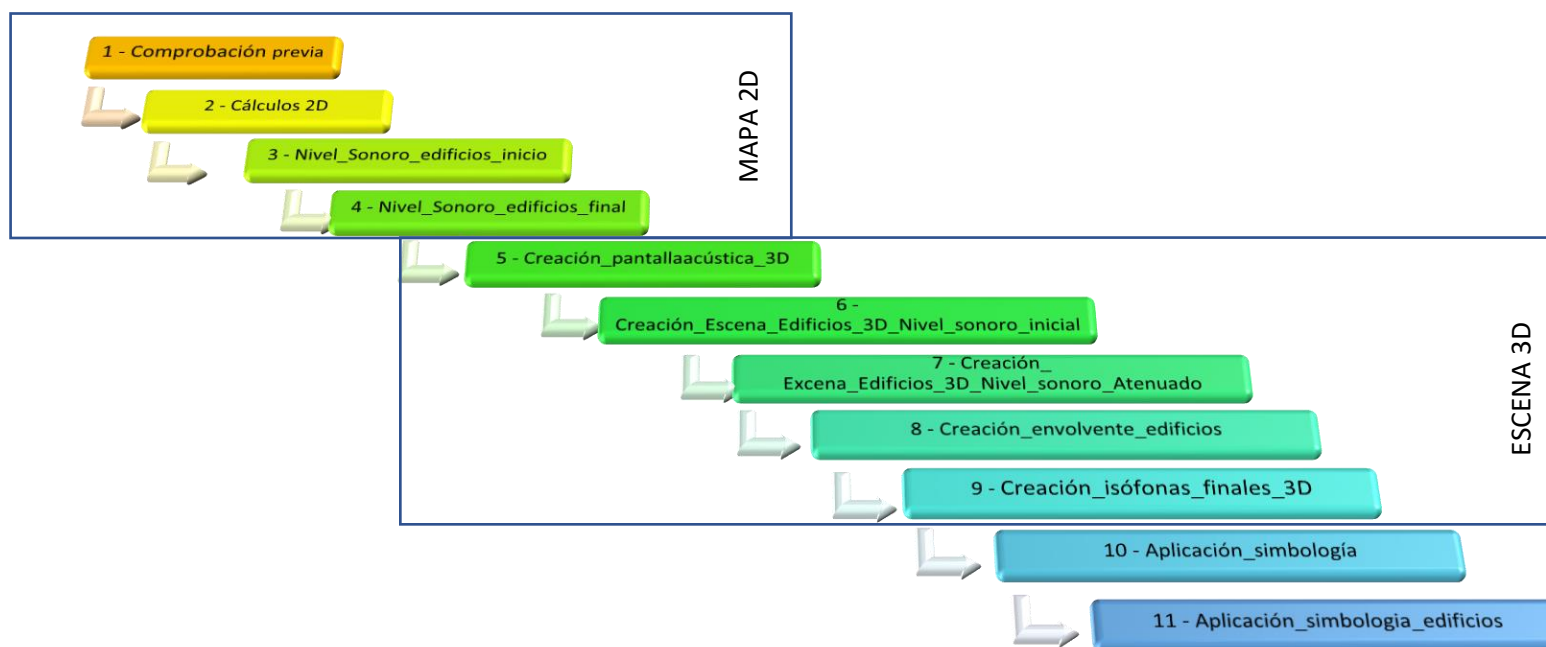


Figura 43. Orden de ejecución de modelos creados

El esquema de la figura anterior representa las distintas fases o etapas llevadas a cabo bien en el mapa, para el caso de cálculos o análisis en 2D, o bien en la escena creada para la representación de resultados en 3D.

4.4.2. Creación de mapa 2D y escena 3D

Para la creación o generación de un mapa se ajustará a lo reflejado en el esquema expuesto en la Figura 44. Proceso de creación de mapa

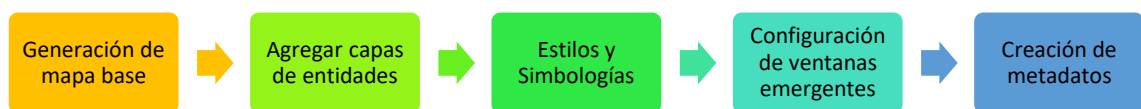


Figura 44. Proceso de creación de mapa

Incorporados los datos al mapa base, asignación de simbología, creación de metadatos, ordenación y rangos de escalas de visualización, Ver (Figura 45. Cuadro de dialogo “Propiedades” donde se establecen los rangos de visibilidad de las capas de entidades) se está en disposición de crear a partir del mismo, un mapa denominado “MB_TFM_JSV_Map”. (Ver Figura 46. Conversión de mapa base a mapa) en la que se irán incorporando los resultados en 2D.

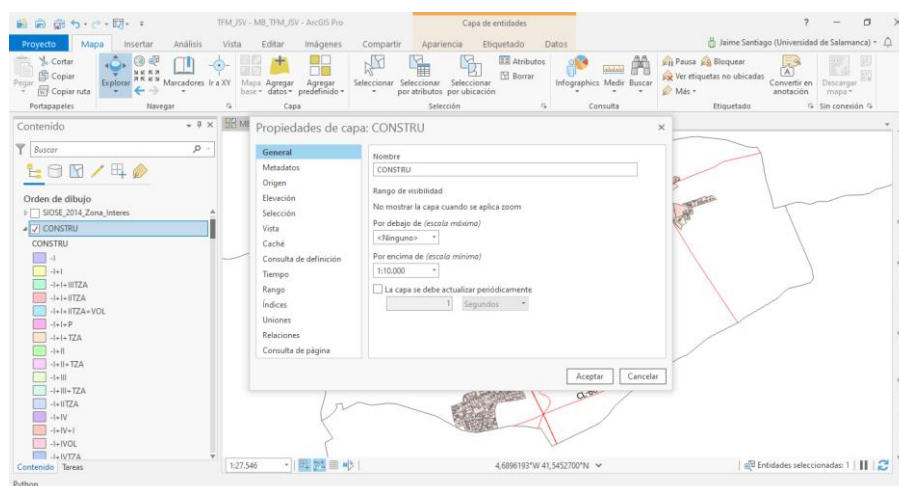


Figura 45. Cuadro de dialogo “Propiedades” donde se establecen los rangos de visibilidad de las capas de entidades

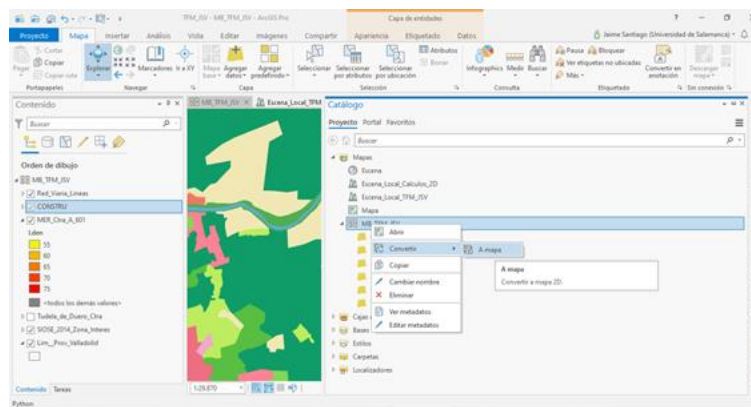


Figura 46. Conversión de mapa base a mapa

Las capas de entidades son generadas con los modelos diseñados, que en el caso de la elaboración del mapa en 2D, son las que engloban las 4 primeras herramientas junto con la herramienta 10, aunque en alguna de ellas se adelantan ciertos procesos en 3D, de forma que,

- 1 – Comprobación previa: Mediante la creación de este modelo se comprueba la posible existencia de áreas afectadas por ruidos emitidos por la vía de comunicación que pudieran afectar a las áreas residenciales anexas, de forma que en ausencia de resultados o con una salida vacía no existirían áreas de uso residencial con problemas de ruido. La salida esperada del mismo es una capa o entidad de tipo polígono que muestra las áreas de tipo residencial afectadas por los ruidos emitidos por la vía de comunicación en estudio. Este proceso se describe con más detalle en el Apéndice IV. Herramienta. Comprobación previa.
- 2 – Cálculos 2D: En esta fase se realiza el grueso del análisis espacial mediante el modelo de geoprocetamiento creado, como se puede observar de una forma más detallada en el Apéndice V. Herramienta. Cálculos 2D, en el que a partir del eje de la vía de comunicación se genera un “mapa estratégico de ruido editado” o también llamado Isófonas Iniciales, mediante la generación de curvas isófonas equidistantes que representan los distintos niveles sonoros de ruido emitido, así como el

sólido 3D de cada una de estas curvas isófonas iniciales. También, se generan las zonas susceptibles de contener una pantalla acústica que serán aquellas zonas que sean comunes tanto a un uso de tipo “residencial” como a un uso de tipo “infraestructuras, y por último se dispone de un mapa de isófonas finales que es el resultante de la sustracción al mapa inicial de la zona de sombra creada por la pantalla acústica.

- **3 – Nivel Sonoro Edificios Inicio:** Con este modelo se realiza el mapa de exposición de ruido de los edificios a partir del mapa de “Isófonas Iniciales”. La salida esperada es una capa tipo polígono que contiene el nivel de exposición de ruido en los edificios emitido por la vía de comunicación. La ejecución del modelo se expone de forma más detallada en el Apéndice VI. Herramienta. Nivel sonoro edificios inicio.
- **4 – Nivel Sonoro Edificios Final:** Como se puede examinar en el Apéndice V. Herramienta. Cálculos 2D y de forma muy similar al modelo anterior, es en este caso donde se aplican los niveles de ruido expuesto a los edificios bajo el amparo de la colocación de una pantalla acústica de una eficacia dada, que para este caso se adopta un valor de 15 dB(A). La salida esperada consiste en una capa o clase de entidad de tipo polígono que muestra el nivel de exposición de ruido en los edificios tras la colocación de una pantalla acústica.

Para la creación de un modelo o escena 3D se sigue un proceso prácticamente igual al anterior (Ver Figura 47.), se genera a partir del mapa una “escena local” en la que se muestran datos que tienen una referencia espacial en un sistema de coordenadas proyectadas local, en los que el terreno y las capas están proyectados en una superficie plana en lugar de hacerlo en una esfera, es decir, no se tiene en cuenta la curvatura de la tierra. Reseñar que al convertir un mapa 2D en una escena, el mapa inicial no se modifica. (Ver Figura 48. Conversión de mapa a escena 3D)

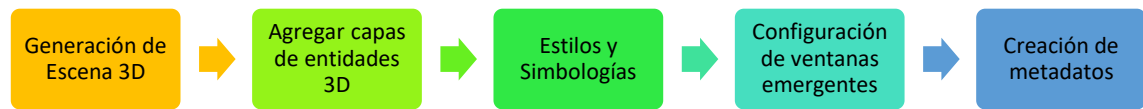


Figura 47. Proceso de creación de Escena 3D

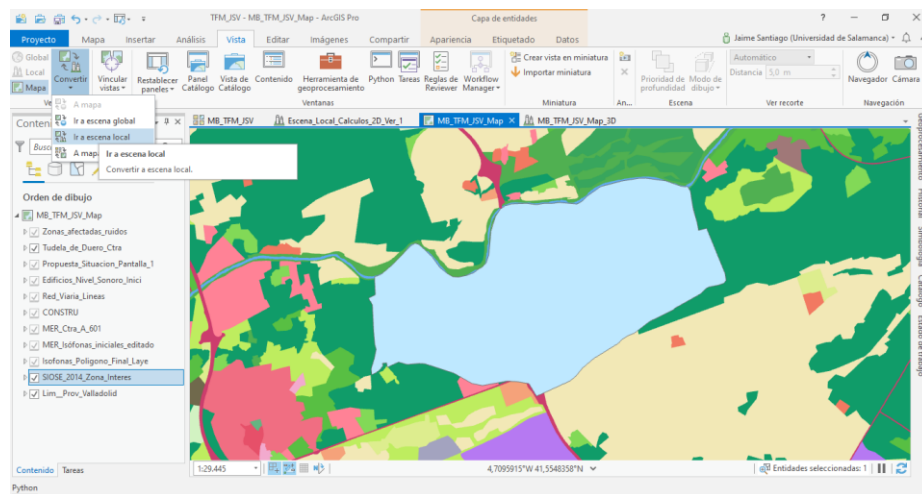


Figura 48. Conversión de mapa a escena 3D

Los siguientes modelos de herramientas generan las capas de entidades 3D que se incorporarán a la escena en 3D,

- **5 – Pantalla acústica 3D:** En el Apéndice VIII. Herramienta. Pantalla Acústica 3D_queda reflejada la forma en la que se obtiene el modelado 3D de la pantalla acústica para una altura dada.
- **6 – Edificios 3D Nivel de ruido inicial:** De la forma descrita en el Apéndice IX. Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Inicial, se generan los sólidos de los edificios calculados en el paso 3 en 3D, para incorporarlos a la escena. La salida esperada consiste en una capa de entidades tipo multiparce que representan los edificios afectados por el ruido junto con el nivel de exposición frente al ruido que soportan.
- **7 – Edificios 3D Nivel de Ruido Atenuado:** Al igual que en el paso anterior, con este modelo se crean a partir de los edificios y nivel sonoro soportado atenuado, calculados en el paso 4, sólidos en 3D para incorporarlos a la

escena como se especifica en el Apéndice X. Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Atenuado. La salida esperada consiste en una capa de entidades tipo multiparache que representan el nivel de exposición frente al ruido de los edificios dentro de la zona de sombra generada por una pantalla acústica.

- 8 – Envoltente de edificios 3D: Con este modelo del que se realiza una mayor descripción en el Apéndice XI. Herramienta. Envoltente Edificios 3D, se construye la zona de sombra proporcionada por la pantalla acústica, que envolvería a los edificios afectados. En este sentido, conviene reseñar que para poder calcular el sólido que la define se ha tenido que adoptar la equivalencia de esta como si se tratase de una construcción con un tejado a cuatro aguas, prescindiendo de la opción de una sola agua, dado que no ha sido posible el controlar la orientación de este. La salida deseada es de una capa de entidades multiparache que representan las distintas zonas de sombra generadas por la pantalla acústica.
- 9 – Isófonas Finales 3D: Ejecutando este modelo de herramienta, el cual se puede analizar en mayor profundidad en el Apéndice XII. Herramienta. Isófonas Finales 3D), se obtienen las isófonas en forma de sólidos 3D, en las que se les ha sustraído la zona de sombra producida por la pantalla acústica de forma que los edificios existentes en las áreas de uso residencial quedan bajo protección acústica. Los resultados esperados son varias capas de entidades de tipo multiparache que contiene cada una de ellas, el sólido 3D de las isófonas finales.
- 10 – Aplicación de Simbología: Mediante esta herramienta se dota de simbología a las capas de entidades que contienen las isófonas iniciales, las isófonas finales, así como el mapa estratégico de ruido obtenido de la JCyL en 2D. El proceso empleado se encuentra detallado en Apéndice XIII. Herramienta. Aplicación de simbología
- 11 – Aplicación Simbología Edificios Nivel sonoro atenuado y soportado: Se expone de forma sucinta en el Apéndice XIV. Herramienta. Aplicación de simbología Edificios Nivel Sonoro Atenuado y Soportado el proceso que realiza

la aplicación de simbología a las isófonas 3D finales calculadas y demás elementos 3D.

En las capas de resultados obtenidas tanto en el mapa 2D como la escena 3D se pueden definir de la misma forma los atributos a mostrar en las distintas ventanas emergentes, de forma que el mapa generado pueda mostrar información.

En estas ventanas, se visualiza la información relacionada con los atributos de cada capa del mapa o escena y son configurables de forma que solamente se puedan ver los atributos que se deseen mostrar, aunque la capa tenga muchos otros campos.

En caso de deshabilitar las ventanas se selecciona la capa, y a través del menú contextual seleccionar “Deshabilitar ventanas emergentes”. Ver Figura 49. Deshabilitar Ventanas Emergentes, de forma que cuando se seleccione algún elemento no se muestre información alguna al respecto.

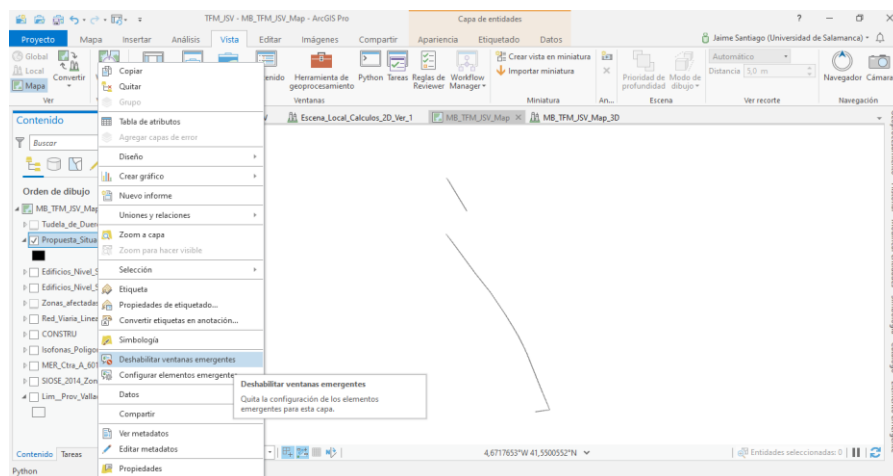


Figura 49. Deshabilitar Ventanas Emergentes

Sin embargo, para poder configurar los atributos que se quieran mostrar cuando se seleccione el elemento se utiliza la opción “Configurar elementos emergentes” (Ver Figura 50. Configuración de elementos emergentes), que permiten definir una lista de campos visibles u ocultos, agregar texto al elemento emergente, insertar imágenes o incluso agregar un gráfico.

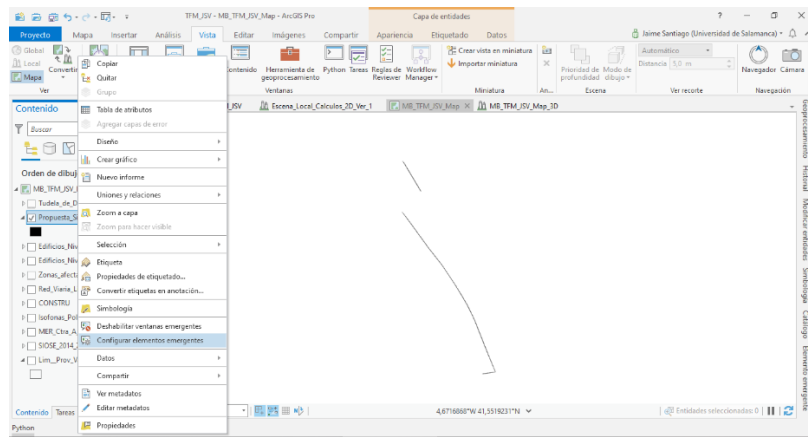


Figura 50. Configuración de elementos emergentes

En la Figura 51. Configuración de elementos emergentes. Opciones, se muestra la configuración establecida para los elementos emergentes existentes en la capa de entidades denominada “Propuesta_Solucion_Pantalla”. Ver Figura 52. Configuración de elementos emergentes. Resultado visible.

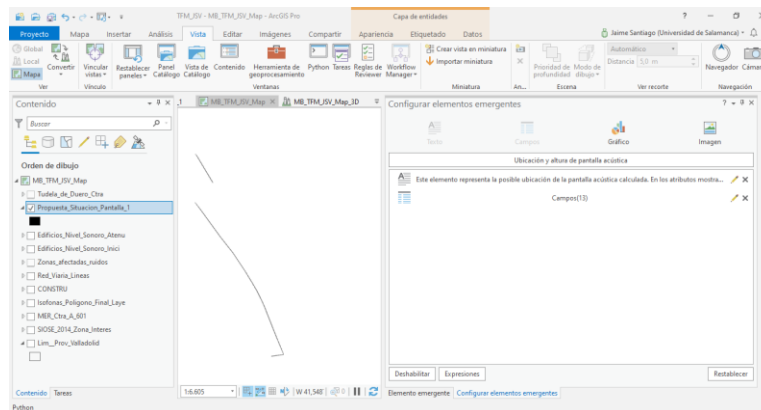


Figura 51. Configuración de elementos emergentes. Opciones

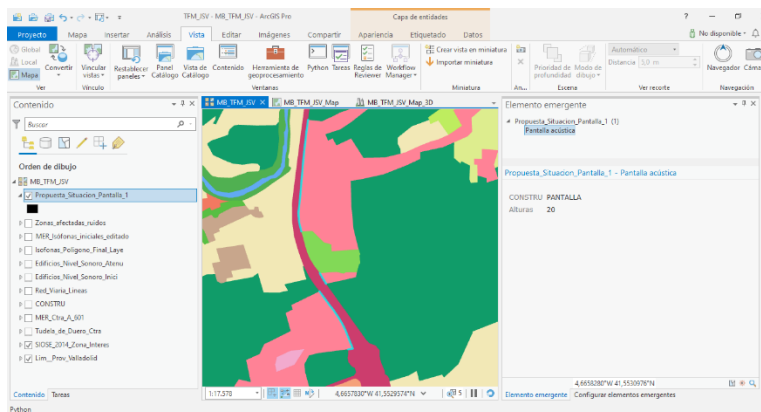


Figura 52. Configuración de elementos emergentes. Resultado visible

Para el resto de capas de entidades se procede a la configuración de los distintos elementos emergentes, ver Figura 53, Figura 54, Figura 55, y Figura 56.

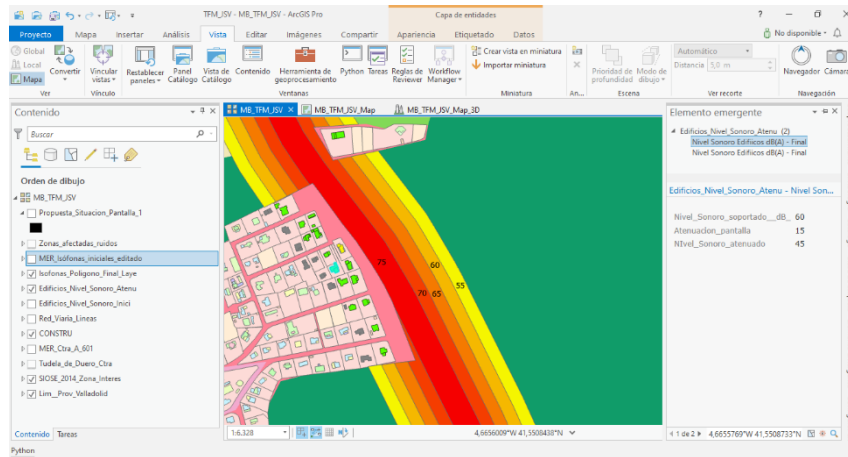


Figura 53. Configuración de elementos emergentes. Capa “Edificios_nivel_sonoro_atenuado”

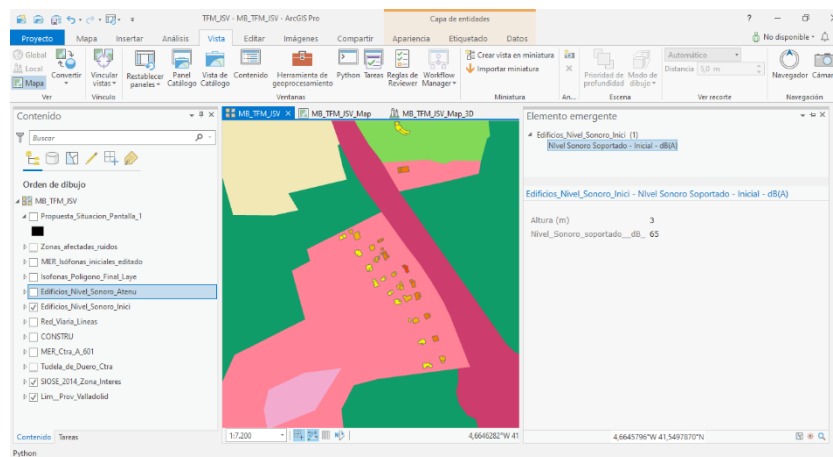


Figura 54. Configuración de elementos emergentes. Capa “Edificios_nivel_sonoro_inicial”

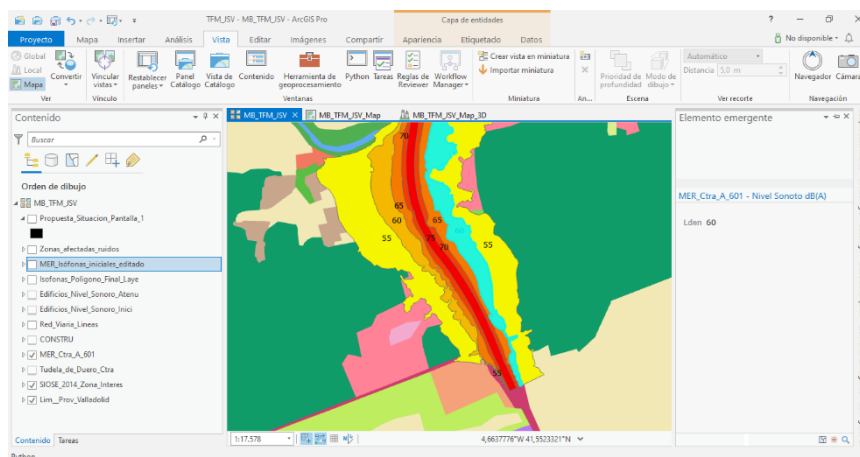


Figura 55. Configuración de elementos emergentes. Capa “Red Viaria Líneas”

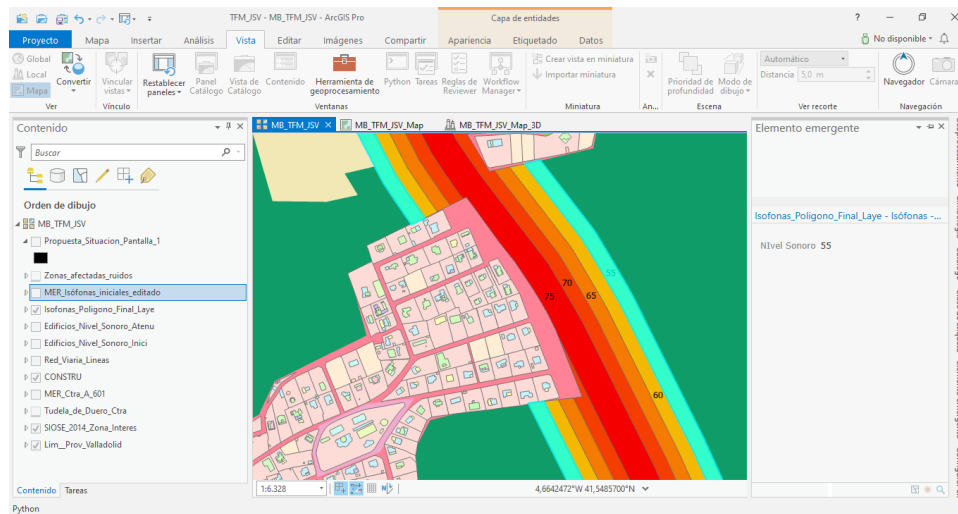


Figura 56. Configuración de elementos emergentes. Capa "Isófonas Polígono Final Laye"

Al igual que con las capas de entidades de datos iniciales, se incorporan los distintos metadatos a las capas de resultados. Ver Figura 57. Metadatos de las capas de resultados obtenidas

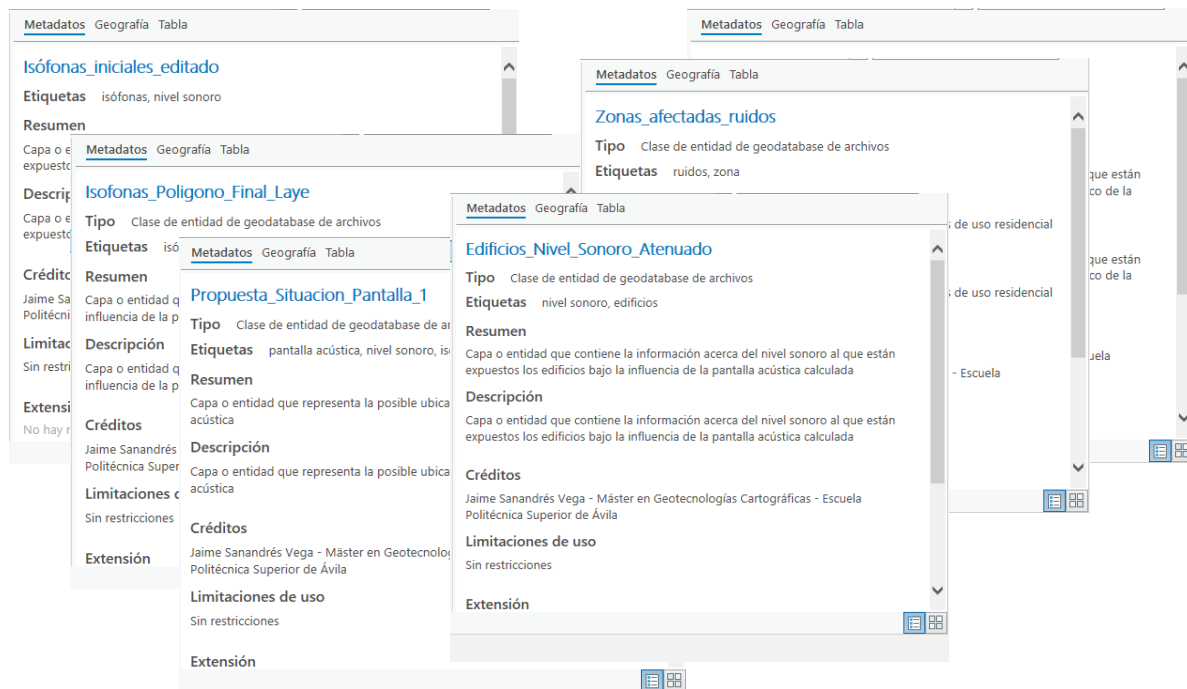


Figura 57. Metadatos de las capas de resultados obtenidas

4.5. Publicación de mapa 2D

Con los resultados obtenidos mediante la ejecución de las herramientas diseñadas, llega el momento de compartir o publicar el mapa creado, como un mapa web¹².

Estos tipos de mapas contienen, un mapa base, capas, una extensión, una leyenda y herramientas de navegación como zoom, desplazamiento panorámico, etc. También pueden contener distintos elementos interactivos, como una galería de mapas base que permita cambiar los mapas como imágenes o calles, incluir herramientas de medición, ventanas emergentes que muestran distintos atributos de una entidad específico, e incluso pueden ser abiertos en navegadores web estándar y dispositivos móviles. También se pueden compartir a través de vínculos o enlaces web, e integrarlos en páginas web.

La generación de un mapa web implica de forma previa la realización o creación de un mapa como se ha expuesto en el apartado anterior.

Con el mapa disponible, se publica mediante la opción “Compartir” que contiene ArcGIS PRO para integrarlo en ArcGIS Online y utilizarlo posteriormente para crear la aplicación. Durante este proceso, se transforman o convierten las capas que forman el mapa base en capas web. Las opciones de publicación o compartir, se encuentran en la cinta de opciones (Ver Figura 58. Compartir mapa) donde se seleccionará el icono “Mapa Web”. A partir de este momento se activa el menú contextual que permite el uso compartido del mapa donde se completan las opciones de incorporación de metadatos, el tipo de capa y la ubicación donde se incorporará el mapa dentro de ArcGIS Online, opciones sobre con quien compartir el mapa. (Ver Figura 59. Opciones “Compartir como mapa web”).

¹² Un mapa Web de ArcGIS es una visualización interactiva de información geográfica.

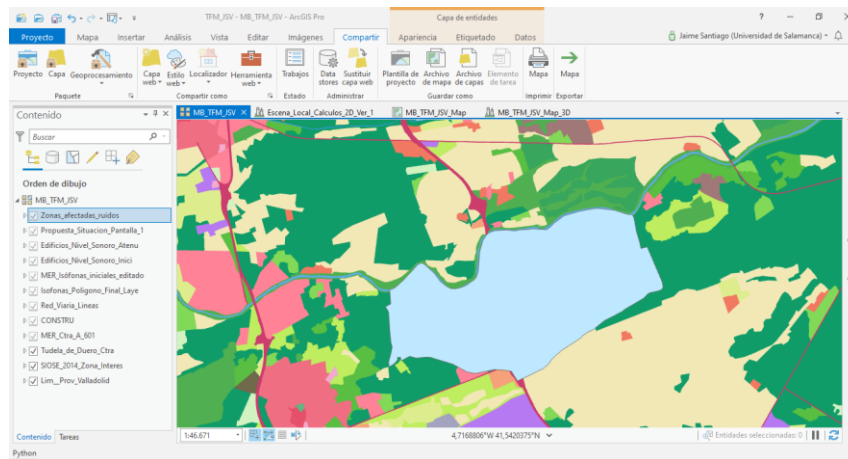


Figura 58. Compartir mapa

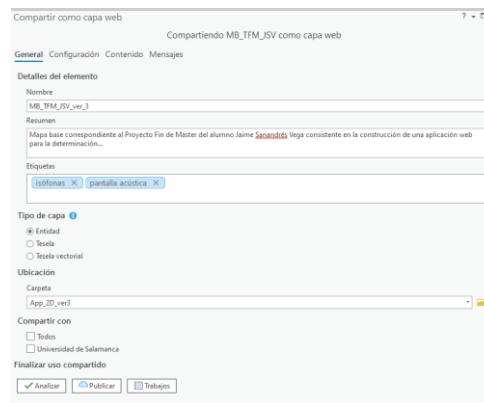


Figura 59. Opciones “Compartir como mapa web”

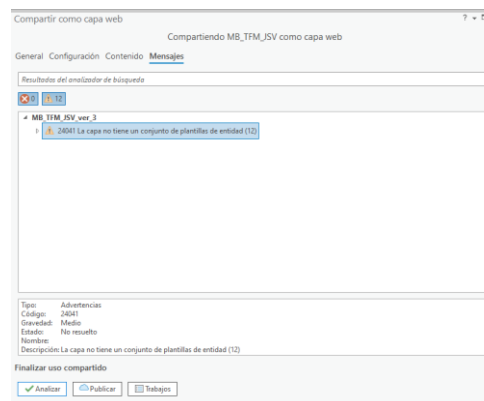


Figura 60. Análisis previo al uso compartido del mapa base

Previamente a la publicación propiamente dicha, ArcGIS PRO realiza un análisis donde busca errores que pudieran existir y provocar fallos, por lo que, realizado el proceso de forma satisfactoria se publica la capa web en ArcGIS Online obteniendo un

resultado correcto. Ver Figura 61. Proceso de publicación desde aplicación cliente a ArcGIS Online

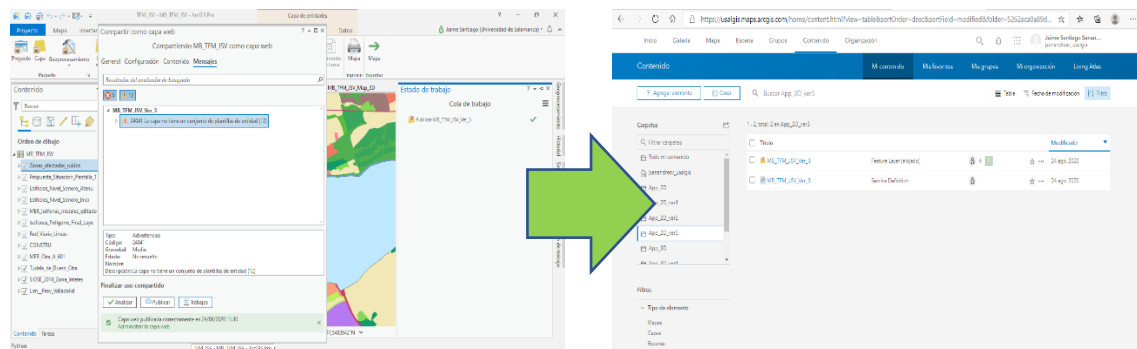


Figura 61. Proceso de publicación desde aplicación cliente a ArcGIS Online

4.6. Publicación de escena 3D

El modelo 3D o Escena Local creado a partir del mapa, se puede compartir o publicar mediante la opción “Escena Web” existente en la pestaña “Compartir”. Ver Figura 62. Opción "Compartir Escena Web".

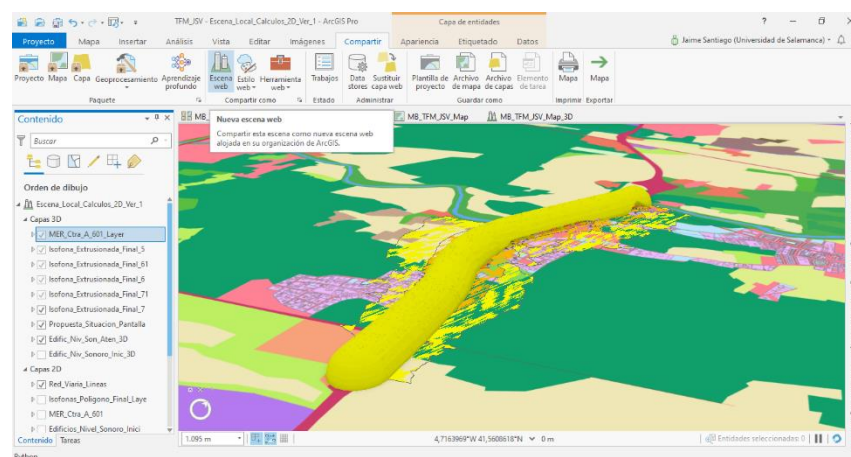


Figura 62. Opción "Compartir Escena Web"

Las escenas web, son visualizaciones interactivas de información geográfica que resultan muy útiles para visualizar y analizar en la web los datos. Una escena web contiene capas de mapa base y de elevación que aportan contexto para las distintas capas operativas. Las capas de mapa base proporcionan referencia a las áreas mientras que la superficie de elevación define las alturas de las capas. Sin una fuente de elevación, como es el caso, todas las capas 3D aparecen como en superficie plana

También pueden contener distintos elementos interactivos, galería de mapas base incluir distintos widgets, ventanas emergentes que muestran información e incluso distintas diapositivas que muestran una vista determinada de la escena.

Activado el menú contextual que permite el uso compartido de la escena, se completan las opciones de incorporación de metadatos y la ubicación donde se incorporará el mapa dentro de ArcGIS Online, e incluso las opciones sobre con quien compartir el mapa. (Ver Figura 63. Compartir como escena web)

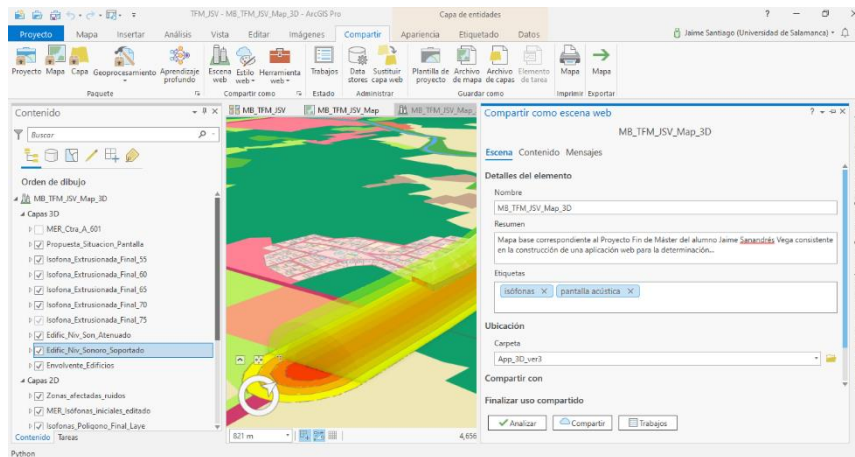


Figura 63. Compartir como escena web

Reseñar que para un correcto funcionamiento de la App 3D, hay que modificar la configuración por defecto de las distintas capas web 3D que se van a generar, de forma que la opción de “Almacenamiento en caché” se produzca de forma local. (Ver Figura 64. Opciones de almacenamiento de capa web.

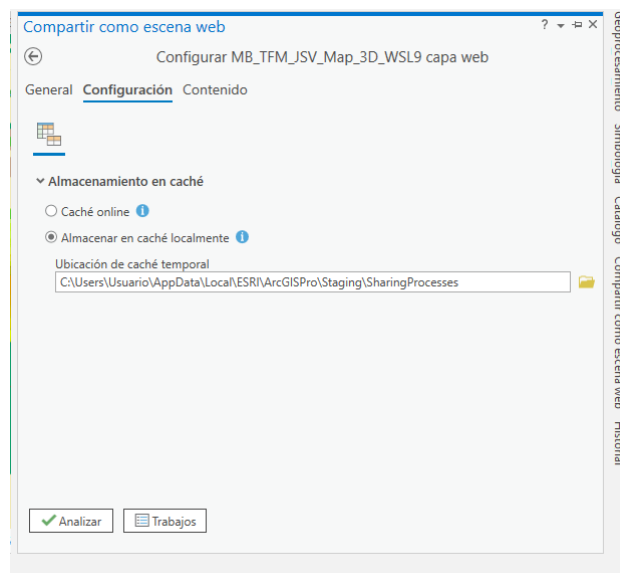


Figura 64. Opciones de almacenamiento de capa web

De la misma forma que en el caso del mapa 2D, se realiza un análisis previo a la publicación, donde se buscan errores que pudieran existir y provocar fallos (Ver Figura

65. Resultado de análisis previo a publicación de escena 3D), se publica la capa web en ArcGIS Online obteniendo un resultado correcto.

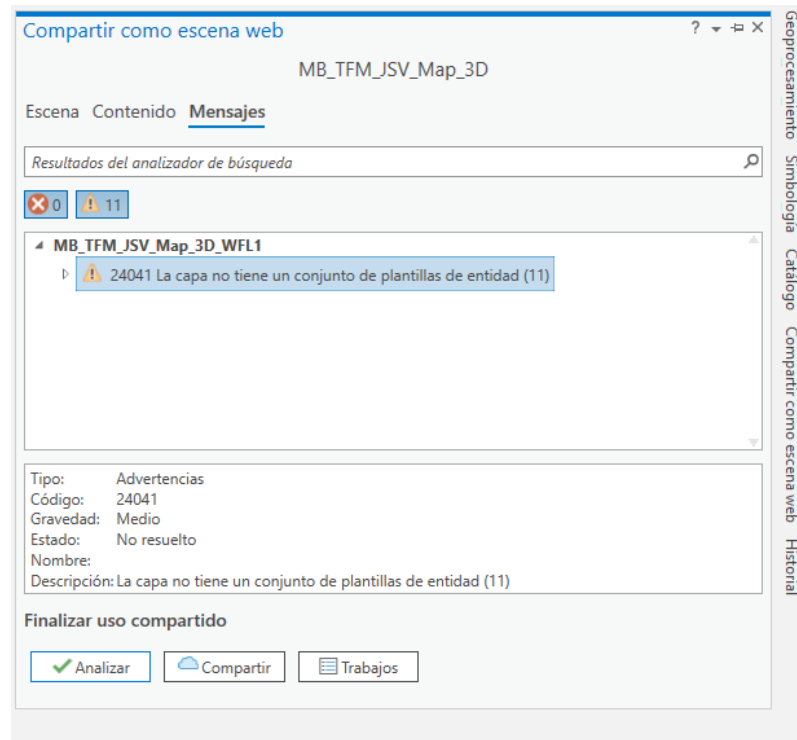


Figura 65. Resultado de análisis previo a publicación de escena 3D

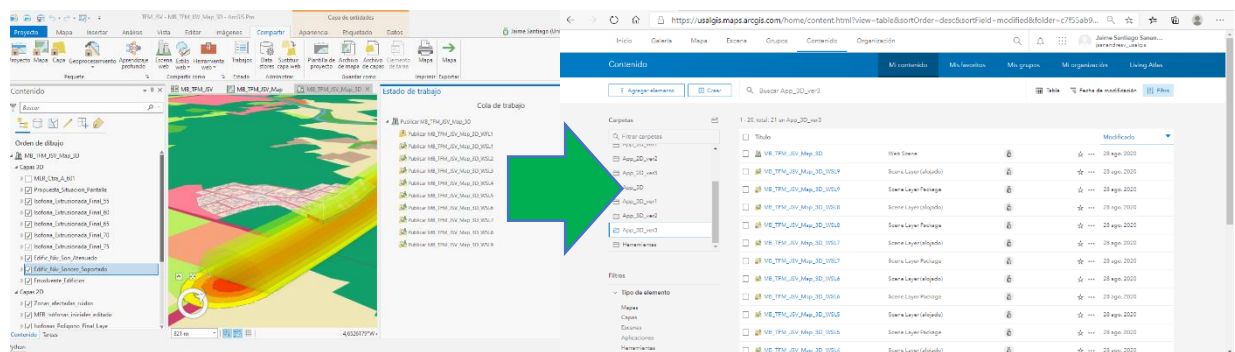


Figura 66. Proceso de publicación de escena 3D desde aplicación cliente a ArcGIS Online

4.7. Creación de app 2D

La creación y desarrollo de la aplicación web se realiza desde el entorno de ArcGIS Online, utilizando la herramienta existente Web App Builder (Ver Figura 67.

Herramienta Web App Builder dentro de ArcGIS Online), y siguiendo el proceso indicado en la Figura 68. Proceso de creación de una Aplicación 2D en Web App Builder.

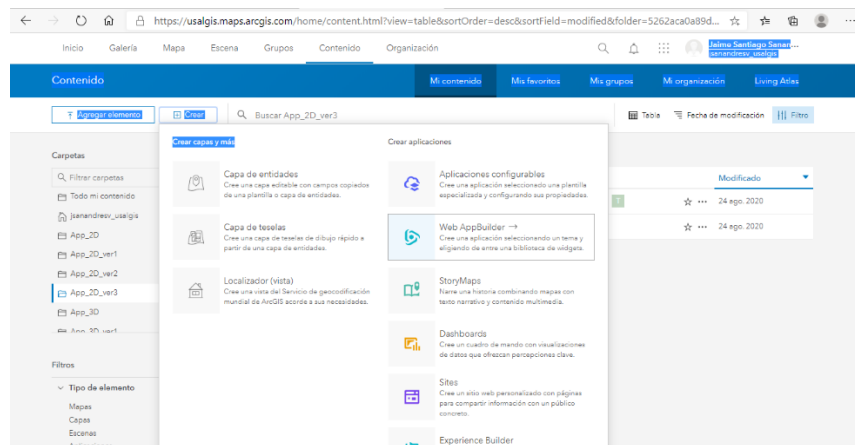


Figura 67. Herramienta Web App Builder dentro de ArcGIS Online



Figura 68. Proceso de creación de una Aplicación 2D en Web App Builder

Como primer paso a llevar a cabo, es la elección del tipo de aplicación a crear, bien sea 2D ó 3D como se puede ver en la Figura 69. Elección de tipo de aplicación en Web App Builder, siendo para este caso la opción “2D”.

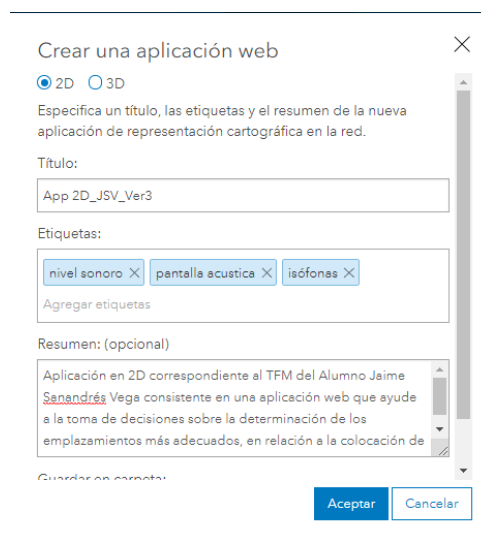


Figura 69. Elección de tipo de aplicación en Web App Builder

Seleccionado el tipo de aplicación a crear, se continua con el segundo paso consistente en la elección del tema de la aplicación, es decir, se configurará el aspecto y el funcionamiento propio de la aplicación. Se incluyen distintos paneles, estilos, diseños y widgets preconfigurados que servirán de ayuda. (Ver Figura 70. Selección de tema en aplicación 2D)

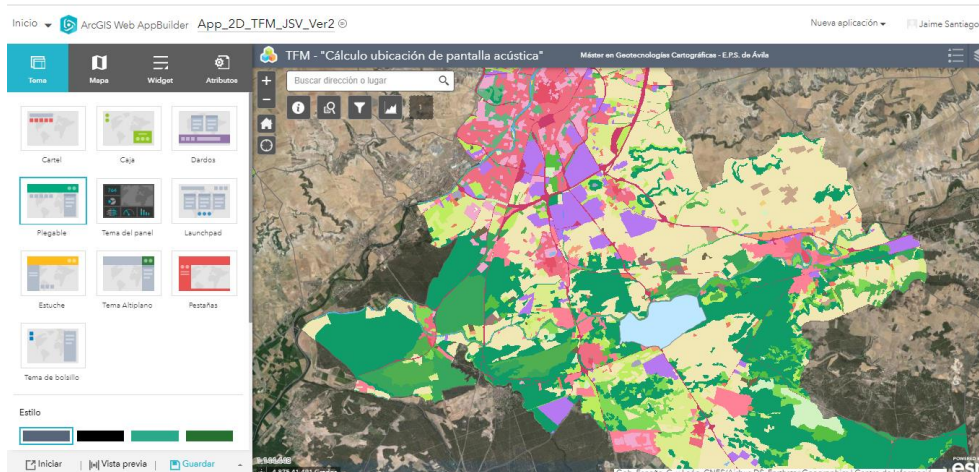


Figura 70. Selección de tema en aplicación 2D

Como paso 3, se incorpora el mapa publicado con anterioridad desde ArcGIS PRO, seleccionando la opción “Elegir Mapa Web” y buscando el emplazamiento dentro de “Mi Contenido” en ArcGIS Online. Ver Figura 71. Selección de mapa en aplicación 2D. Reseñar que se puede incorporar como mapa base adicional una ortofoto.

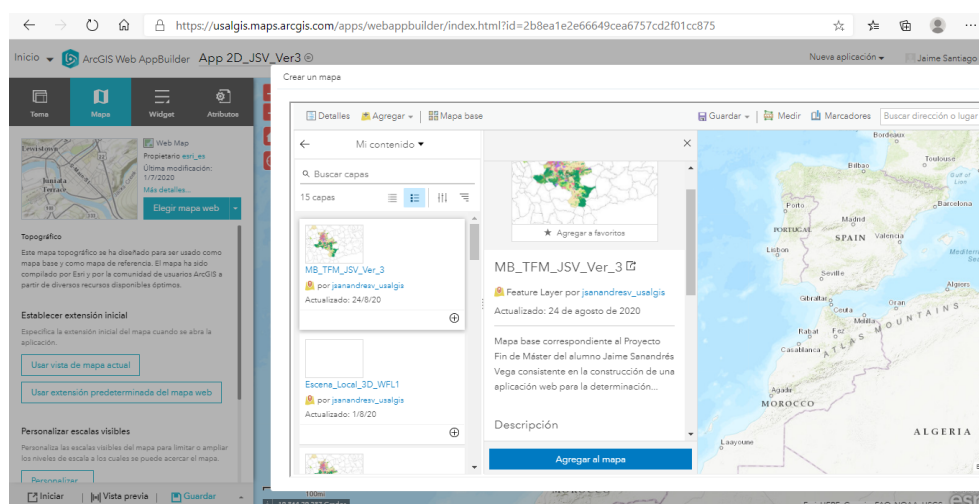


Figura 71. Selección de mapa en aplicación 2D

El siguiente paso o paso 4, consiste en dotar de funcionalidad a la aplicación siendo necesario la inserción de Widgets¹³. Indicar que en función del tema elegido los “widget” disponibles preconfigurados son distintos. Ver Figura 72. Tipos de Widget preconfigurados disponibles en Web App Builder.

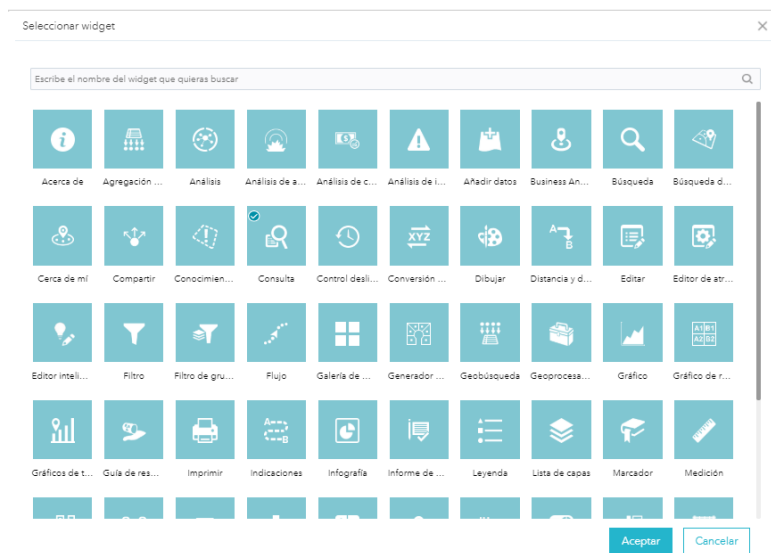
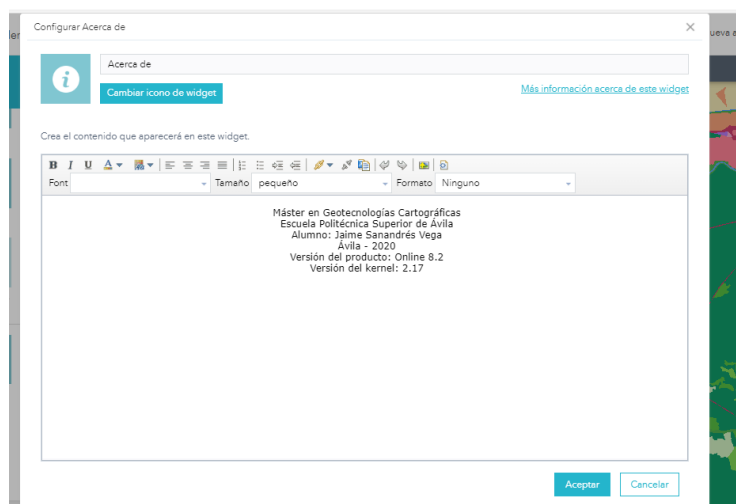


Figura 72. Tipos de Widget preconfigurados disponibles en Web App Builder

Se han incorporado varios widgets cuya función son las siguientes,

- **Acerca de...:** Se puede definir para que se abra automáticamente al iniciar una aplicación e indica información sobre la propia aplicación



¹³ Los widgets proporcionan funciones fundamentales para crear aplicaciones web con facilidad. La mayoría tienen parámetros que permiten la configuración y personalización

- Consulta: permite recuperar información de los datos de origen ejecutando una consulta predefinida. Seleccionando la capa de la que se quieren extraer los datos podemos aplicar distintos tipos de filtros¹⁴ (Figura 73. Definición de filtro en widget “Consulta”) para configurar la consulta a realizar. En el caso que nos ocupa se han añadido dentro del mismo widget dos tipos de consultas (Ver Figura 74. Tipos de consultas generadas en el widget “Consulta”), consistentes en la muestra de los niveles sonoros de los edificios soportado y atenuado, es decir, antes y después de la colocación de la pantalla acústica, también permite la configuración de la salida de los resultados de la consulta realizada.

Widget configuration for 'Consulta'. The dialog shows a filter expression: 'Nivel_Sonoro_sopo' with a range filter 'está entre' and a suggestion 'mín 55 - máx 75'. There are buttons for 'Aceptar' and 'Cancelar'.

Figura 73. Definición de filtro en widget “Consulta”

Configuration dialog for 'Consulta'. The left panel shows a list of queries, including 'Nivel sonoro soportado en edificios'. The right panel shows configuration options: 'Fuente de datos' (https://services5.arcgis.com/pvmGGMS0WU0T1t/arcgis/rest/services/), 'Título' (Nivel sonoro soportado en edificios), and 'Icono' (a dropdown menu). There are buttons for 'Aceptar' and 'Cancelar'.

¹⁴ permite limitar la visibilidad de las entidades de una capa determinada, por tanto. En el mapa solo serán visibles las entidades que cumplan los criterios de la expresión.

Figura 74. Tipos de consultas generadas en el widget “Consulta”

- **Gráfico:** muestra uno o varios atributos cuantitativos de una capa determinada como una representación gráfica de los datos. Se han seleccionado para representar gráficamente los atributos que definen el nivel sonoro soportado y atenuado en los edificios, de forma que se representarán en forma de circulo la proporción existente de edificios con un nivel sonoro determinado.

Figura 75. Configuración de widget “Gráfico”

- **Geoprocesamiento:** este widget proporciona una interfaz de usuario dinámica para ejecutar una tarea de geoprocesamiento (Ver Figura 76. Configuración widget “Geoprocesamiento”). A través de la introducción de los distintos widgets de este tipo, podemos llamar a las herramientas diseñadas para que realicen las tareas de geoprocesamiento para las que han sido creadas, para lo cual se deben haber publicado previamente en ArcGIS Online.

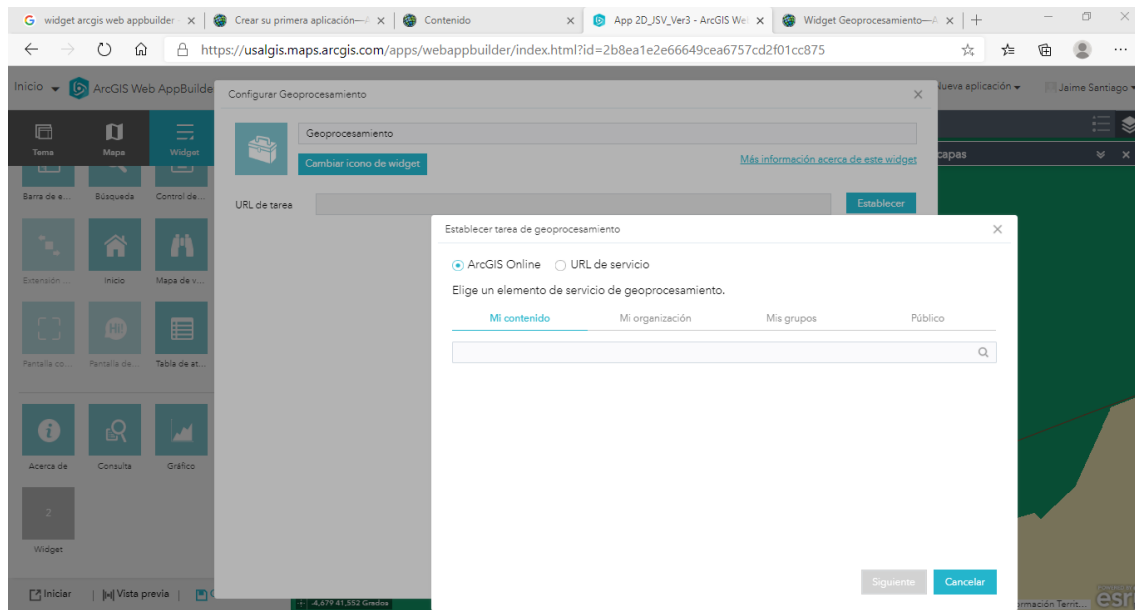


Figura 76. Configuración widget “Geoprocementamiento”

La publicación de las herramientas se realiza a través del icono “Herramienta Web” existente en la pestaña “Compartir”, sin embargo debido a problemas de licenciamiento con el nivel de usuario disponible no es posible llevarlo a cabo. Ver Figura 77. Publicación de “Herramientas Web”.

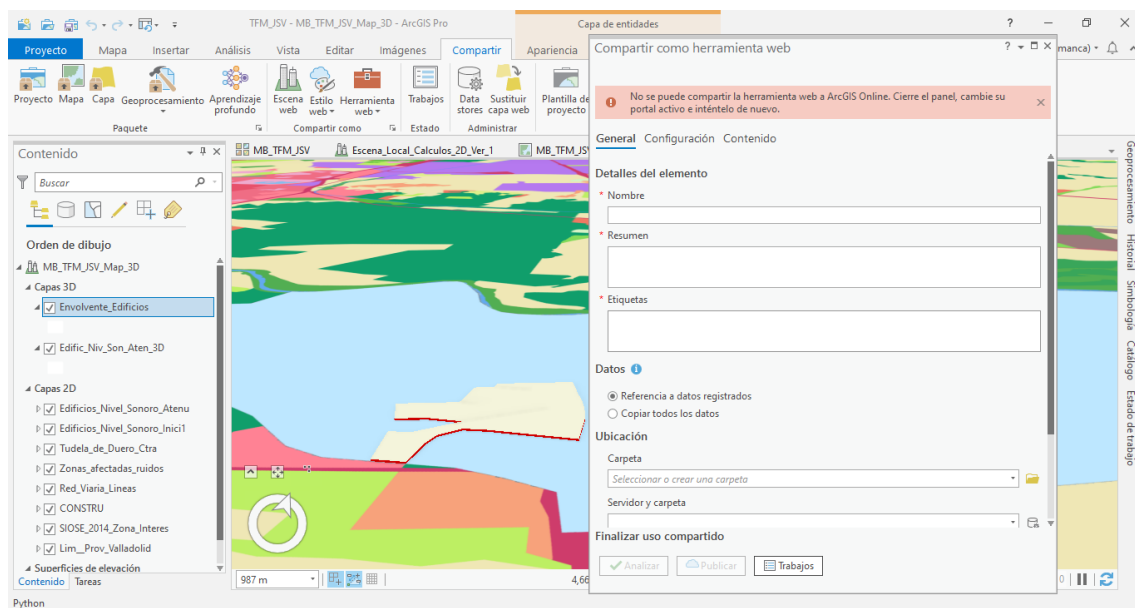


Figura 77. Publicación de “Herramientas Web”

- Galerías de mapas base: presenta y permite seleccionar un mapa de la galería como mapa base de la aplicación dentro de los disponibles .

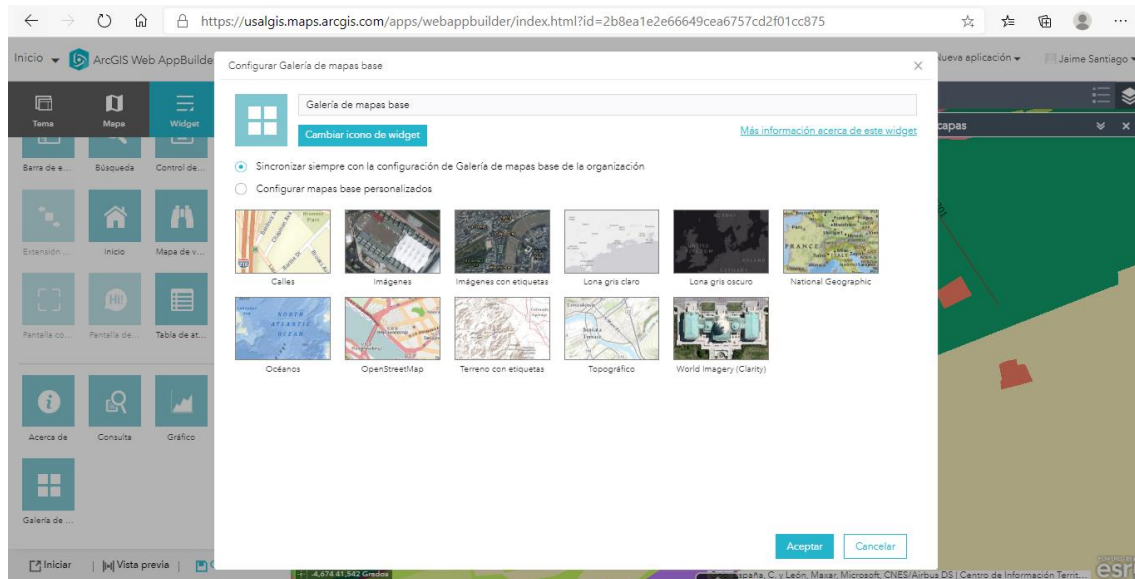


Figura 78. Configuración de widget "Galería de Mapa Base"

Los atributos se configuran en el paso 5, de forma que permiten la personalización de la pantalla o banner de la aplicación con un logotipo, un título, hipervínculos, etc. Ver Figura 79. Configuración de atributos.

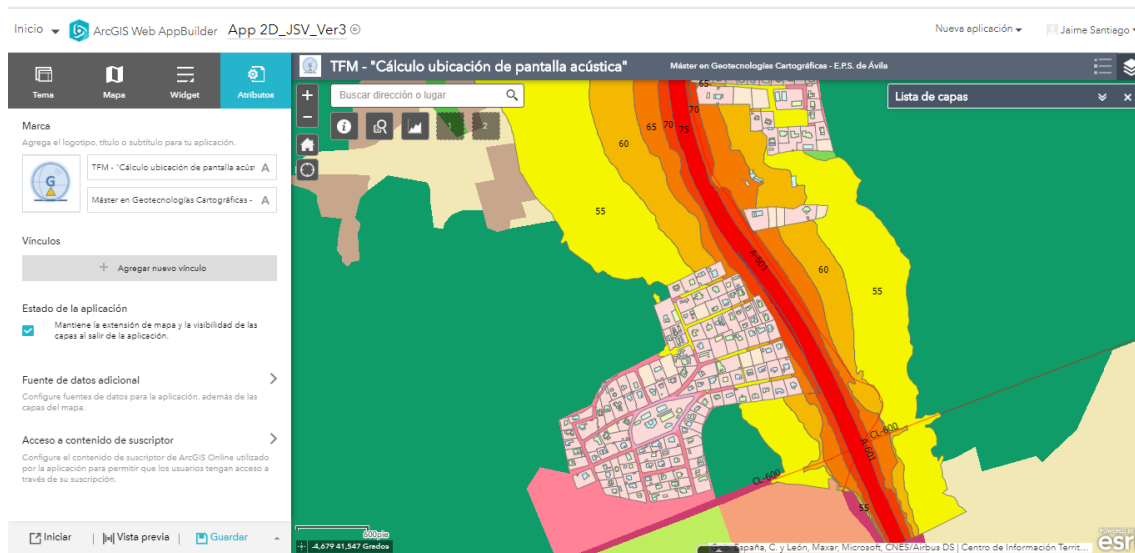


Figura 79. Configuración de atributos

En el último paso 6, se puede realizar una vista previa del diseño de la aplicación realizado donde se puede comprobar como quedaría la presentación de la misma en los

distintos dispositivos móviles más comunes. Ver Figura 80. Previsualización de aplicación 2D en dispositivo móvil.

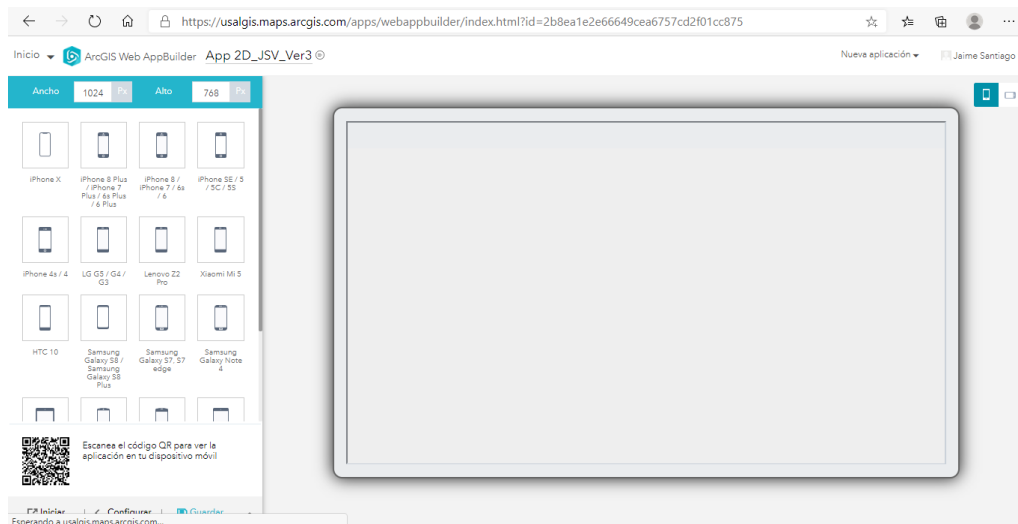


Figura 80. Previsualización de aplicación 2D en dispositivo móvil

Realizados todos los pasos mencionados, solamente queda “Guardar” y “Salir”. Reseñar que es posible ver y/o editar la aplicación en cualquier momento accediendo a ella a través del “Contenido” de ArcGIS Online.

4.8. Creación de app 3D

La creación y desarrollo de la aplicación web en 3D, se realiza igualmente desde el entorno de ArcGIS Online, utilizando la herramienta existente Web App Builder, y siguiendo el proceso indicado en la Figura 81. Proceso de creación de una Aplicación 3D en Web App Builder, el cual es similar al expuesto en el Apartado 4.7. Creación de app 2D.

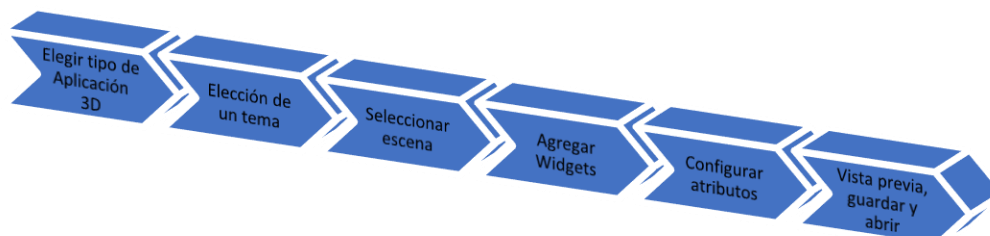


Figura 81. Proceso de creación de una Aplicación 3D en Web App Builder

El tipo de aplicación seleccionado es “3D”. Ver Figura 82. Creación de App 3D.
Elección “Tipo de aplicación”

Crear una aplicación web

☐ 2D ☒ 3D

Especifica un título, las etiquetas y el resumen de la nueva aplicación de representación cartográfica en la red.

Título:
App 3D_TFM_JSV

Etiquetas:
isófonas X nivel sonoro X pantalla acústica X
Agregar etiquetas

Resumen: (opcional)
App 3D que permite visualizar los resultados sobre la determinación de la ubicación de una pantalla acústica con el fin de atenuar los ruidos producidos por una vía de comunicación

Guardar en carpetas:
App_3D_ver3

Aceptar Cancelar

Figura 82. Creación de App 3D. Elección “Tipo de aplicación”

De los distintos temas expuestos, se ha escogido el que se corresponde con la denominación “Plegable”. Ver Figura 83. Creación de App 3D. Selección de “Tema”

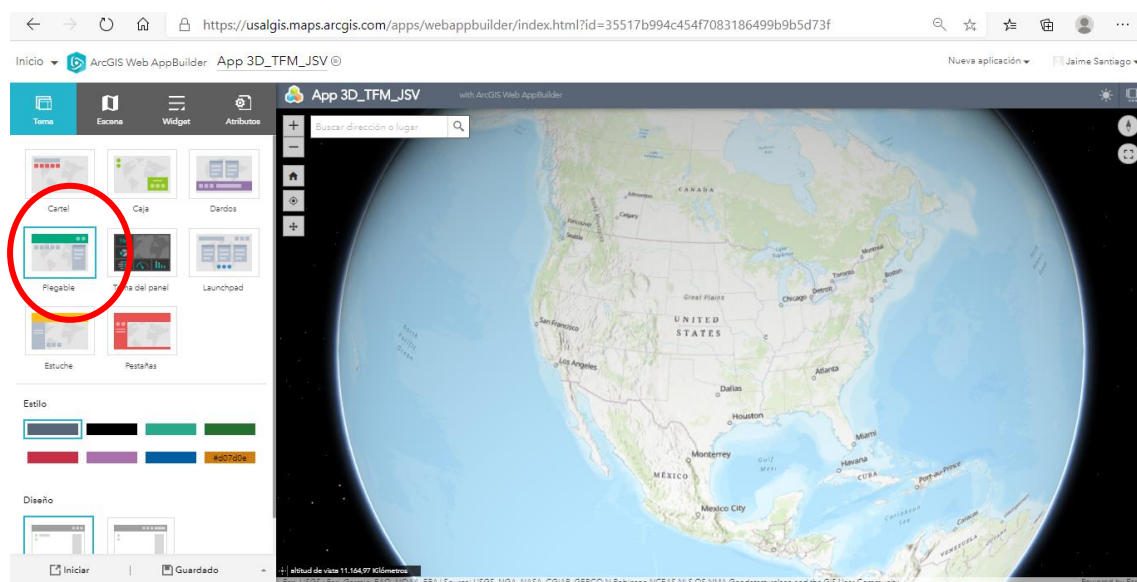


Figura 83. Creación de App 3D. Selección de “Tema”

Continuando con el diseño de la aplicación, hay que incorporar una escena de visualización, de tal forma que, de las disponibles, se elige la correspondiente al proyecto, la cual ha sido publicada previamente.

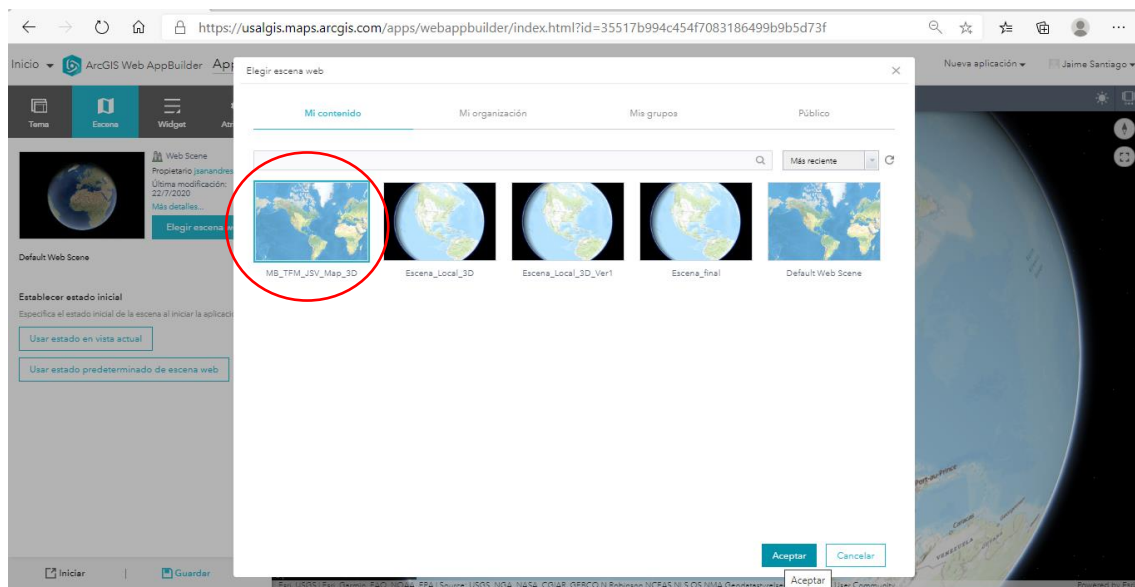


Figura 84. Creación de App 3D. Selección de “Escena 3D”

La funcionalidad se va a conseguir con la incorporación de distintos widgets preconfigurados, que al igual que en el caso de la aplicación 2D dependiendo del tema elegido estarán disponibles, por defecto, de uno u otro tipo como pueden ser, Brújula, Buscar, Control deslizante Zoom, Inicio, Mi ubicación, Navegar, Pantalla Completa. Destacar que los widgets para app 3D son muy inferiores en número y funcionalidad que los disponibles para el caso 2D (Ver Figura 85. Creación de App 3D. Selección de “widgets”). Se añaden como widgets adicionales,

- Acerca de...: Indica información relativa a la propia aplicación
- Diapositivas: Muestra distintas vistas de la escena. Cada diapositiva, almacena una la posición de la cámara (o extensión de su escena), configuración del entorno, mapa base seleccionado y estado de la visibilidad de la capa.

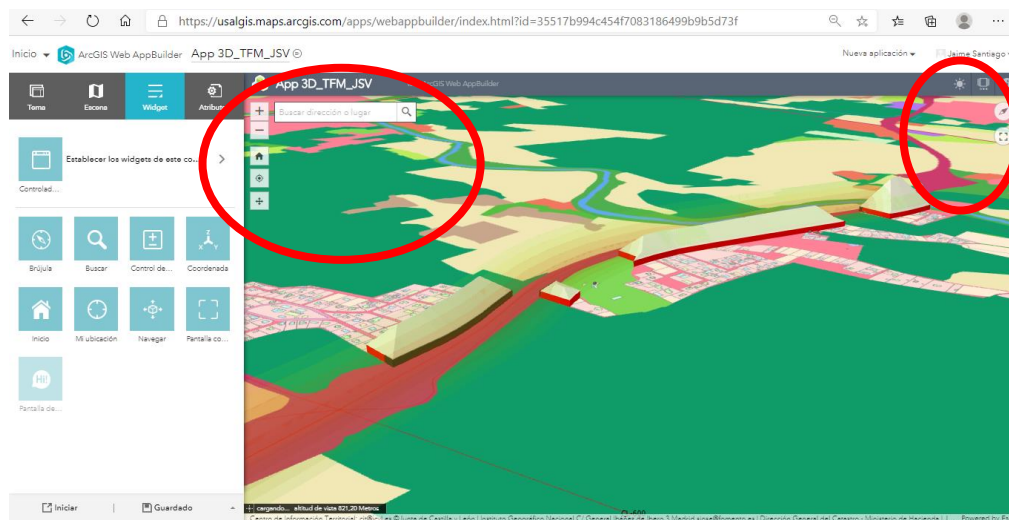


Figura 85. Creación de App 3D. Selección de “widgets”

Las diapositivas se generan a partir de la edición de la “Escena Web” publicada
(Ver Figura 86. Generación de diapositivas. Edición de “Web Scene”).

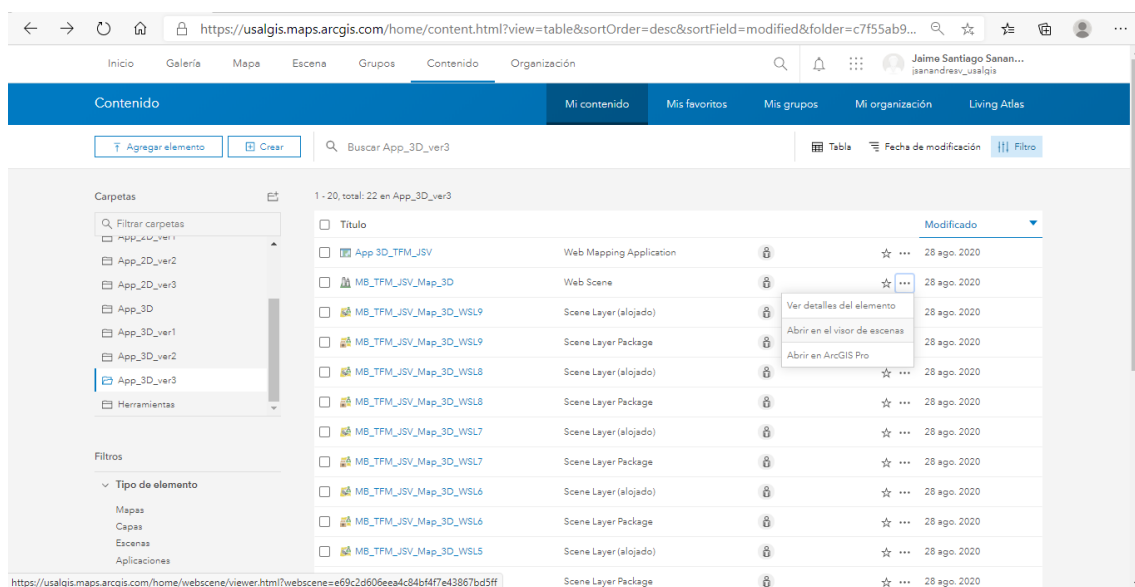


Figura 86. Generación de diapositivas. Edición de “Web Scene”

Mediante el editor de escenas web se puede editar el diseño de la propia escena, permitiendo añadir nuevas capas web, así como la modificación de ciertas propiedades de las capas, como el estilo y propiedades, donde se pueden configurar las ventanas emergentes donde se mostrarán los atributos seleccionados para ser visibles, orden de visualización, etc. Ver Figura 87. Edición de “Escena Web”. Opciones del Diseñador.

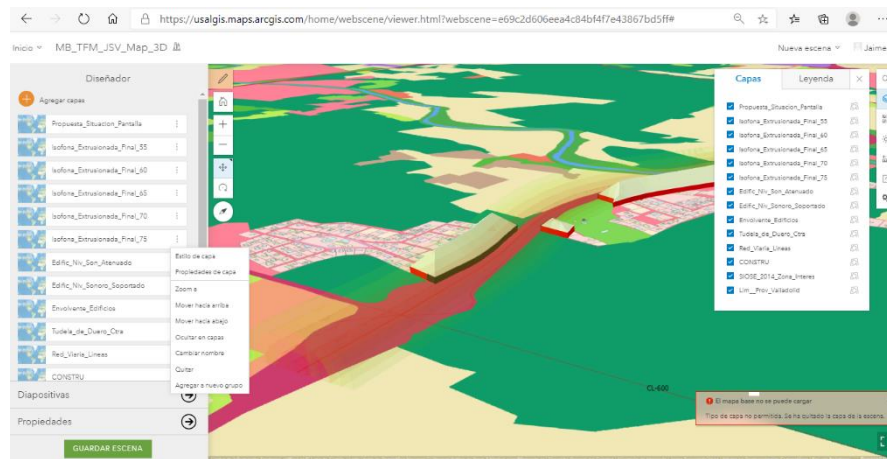


Figura 87. Edición de “Escena Web”. Opciones del Diseñador

Con respecto a las diapositivas, a través de la opción disponible en el diseñador denominada “Diapositivas”, se abre una nueva ventana en la que se dispondrá la posición de la cámara de la forma que el usuario elija para después mediante la opción “Capturar diapositiva” proceder al guardado y nombrado de la misma. Se pueden guardar tantas diapositivas como sean necesarias. Ver Figura 88. Edición de “Escena Web”. Captura de diapositivas y Figura 89. Edición de “Escena Web”. Diapositivas capturadas.

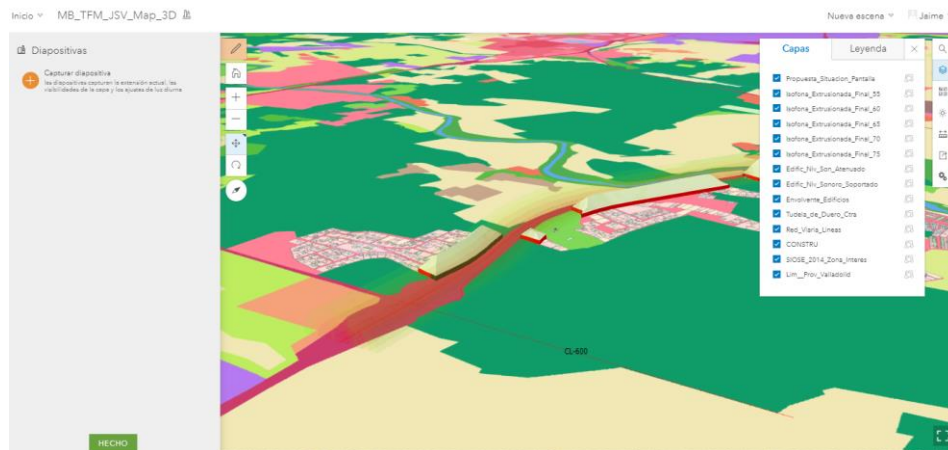


Figura 88. Edición de “Escena Web”. Captura de diapositivas

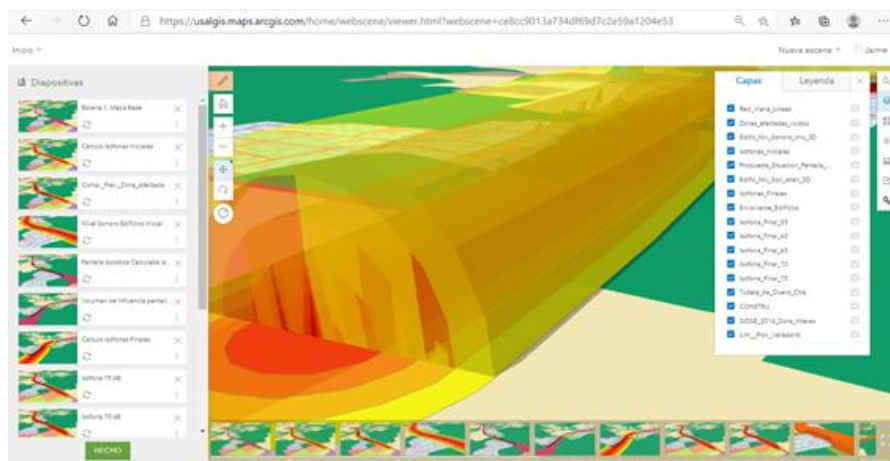


Figura 89. Edición de “Escena Web”. Diapositivas capturadas

Los atributos permiten la personalización de la pantalla o banner de la aplicación con un logotipo, un título, hipervínculos, etc. (Ver Figura 90. Creación de App 3D. Configuración de “atributos”)



Figura 90. Creación de App 3D. Configuración de “atributos”

Concluido todo el proceso citado, se selecciona las opciones “Guardar” y “Salir” de forma que la aplicación 3d queda realizada y alojada en ArcGIS Online. Reseñar que es posible ver y/o editar la aplicación en cualquier momento accediendo a ella a través del “Contenido” de ArcGIS Online.

5. RESULTADOS

A lo largo de la presente memoria se ha ido exponiendo de forma clara todo el proceso de trabajo llevado a cabo encaminado a la consecución de los objetivos específicos y generales marcados.

Los resultados específicos, parciales o metas intermedias se han ido consiguiendo con la ejecución de los modelos de geoprocésamiento o herramientas diseñadas para tal fin, detallándose a continuación cada uno de los mismos.

- Buscar y localizar la información necesaria para la consecución del objetivo general marcado

A través de la Infraestructura de datos espaciales de España (www.idee.es) se facilita el acceso a la información de los distintos datos abiertos en los que se ha basado la ejecución del presente trabajo accediendo de forma específica a la IDE de la Junta de Castilla y León, además de las distintas agencias gubernamentales que ofrecen información geoespacial. Ver (Figura 91. Datos descargados para el desarrollo del TFM).













Nombre	Fecha de modificación
 Carreteras Provincia Valladolid	16/05/2020 17:37
 Cartografía Catastral	12/05/2020 17:17
 Cartografía CyL	17/05/2020 16:41
 Cartografía Usos del Suelo CyL	17/05/2020 17:55
 Datos de aforo de carreteras	15/05/2020 18:19
 Límites Administrativos	27/07/2020 18:26
 Mapas de Ruido CyL	20/08/2020 11:00
 Mapas Ruido Carreteras	10/05/2020 10:35
 Modelo Digital Elevaciones CyL	18/05/2020 19:48
 Red viaria Carreteras CyL	27/07/2020 17:51
 SIOSE CyL 2014	08/05/2020 19:17
 Estilo/CyL5000.stylex	16/07/2020 17:51

Figura 91. Datos descargados para el desarrollo del TFM

- Comprobar y visualizar de forma previa la posible existencia de zonas de uso residencial en las que haya edificios afectados por ruidos emitidos por una vía de comunicación.

Mediante la herramienta diseñada “Comprobaciones previas” se logra la definición del objetivo. En la Figura 92. Resultado obtenido de la aplicación de la herramienta “Comprobaciones Previas” se expone el resultado de la aplicación de la herramienta.

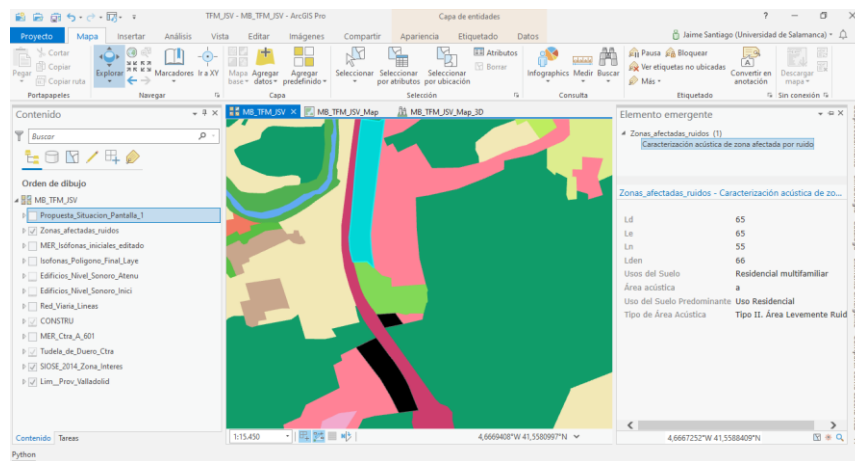


Figura 92. Resultado obtenido de la aplicación de la herramienta “Comprobaciones Previas”

- Generar y representar mapas estratégicos de ruido (MER) de una vía de comunicación que permitan la visualización del área con un nivel de ruido determinado.

Como ya se ha enunciado con anterioridad se elabora un nuevo mapa estratégico de ruido denominado editado, su elaboración se lleva a cabo mediante la herramienta “Cálculos 2D” en la que se definen de forma parametrizada las distancias de las distintas curvas isófonas que la componen (Ver Figura 93. Resultado “Mapa de isófonas iniciales editado”). No obstante, también se visualiza el MER teórico descargado. Ver Figura 94. . Resultado “Mapa de isófonas iniciales teórico”

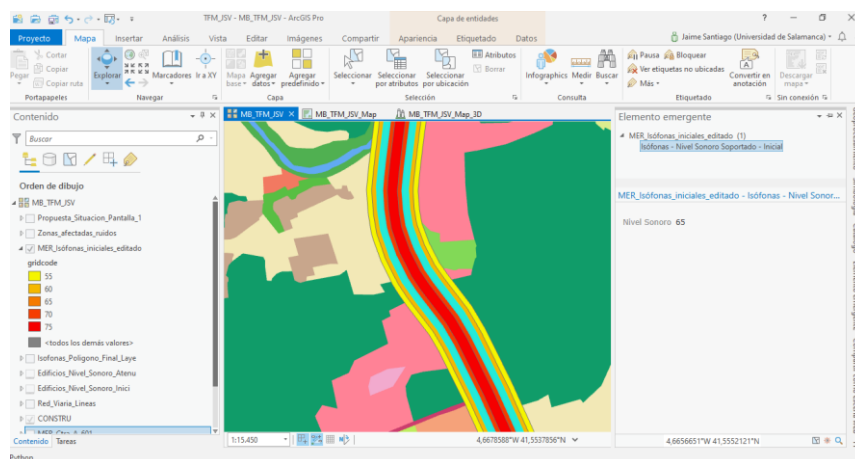


Figura 93. Resultado “Mapa de isófonas iniciales editado”

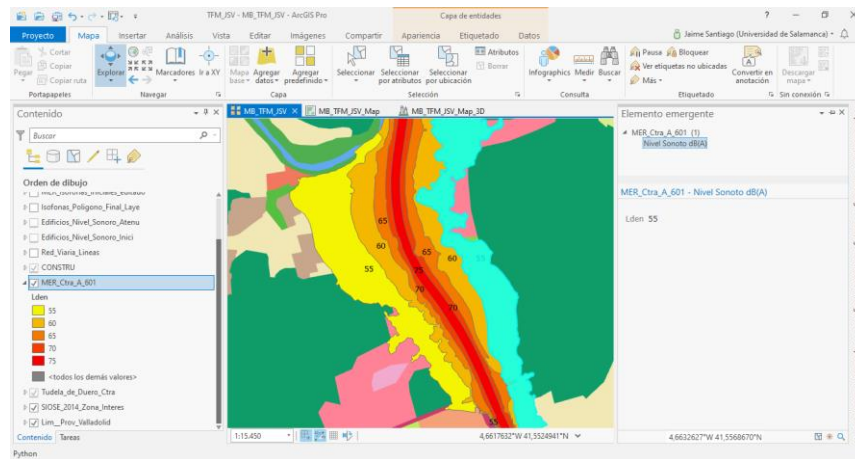


Figura 94. . Resultado “Mapa de isófonas iniciales teórico”

- Realizar y visualizar mapas sobre la exposición de ruido en edificios previa instalación de una pantalla acústica que permitan la visualización del nivel de ruido expuesto

Con las herramientas “Nivel Sonoro Edificios Inicio” y la herramienta “Edificios 3D Nivel Ruido Inicial” se consigue generar dos capas, en 2D y en 3D respectivamente, que contienen las entidades que definen los edificios a los que se ha dotado de los atributos necesarios que establecen el nivel sonoro inicial o de exposición al ruido. Ver Figura 95. Mapa exposición de ruido en edificios previa instalación de una pantalla acústica

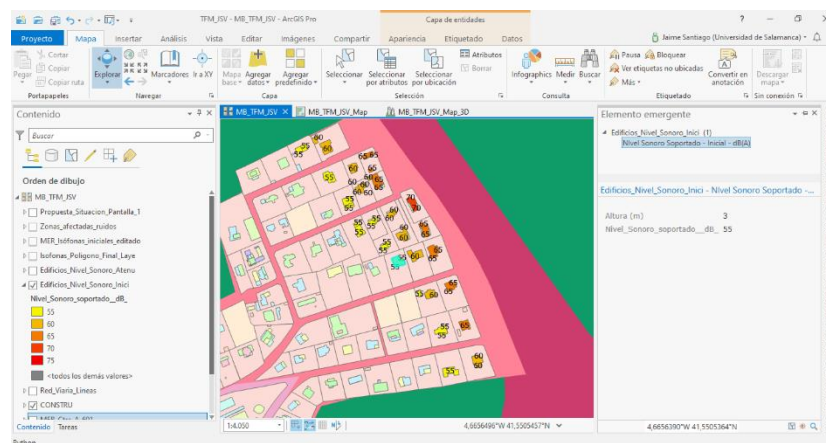


Figura 95. Mapa exposición de ruido en edificios previa instalación de una pantalla acústica

- Componer y plasmar en mapas donde ubicar la posible colocación de una pantalla acústica que ayude a mitigar los efectos producidos por el ruido emitido en una vía de comunicación.

Mediante la herramienta “Cálculos 2D” se realizan los cálculos necesarios que establecen la posible ubicación de una pantalla acústica que mitigue los efectos producidos por la emisión de ruidos procedentes de una vía de comunicación. Ver Figura 96. Resultados Cálculo de posible situación de pantalla acústica

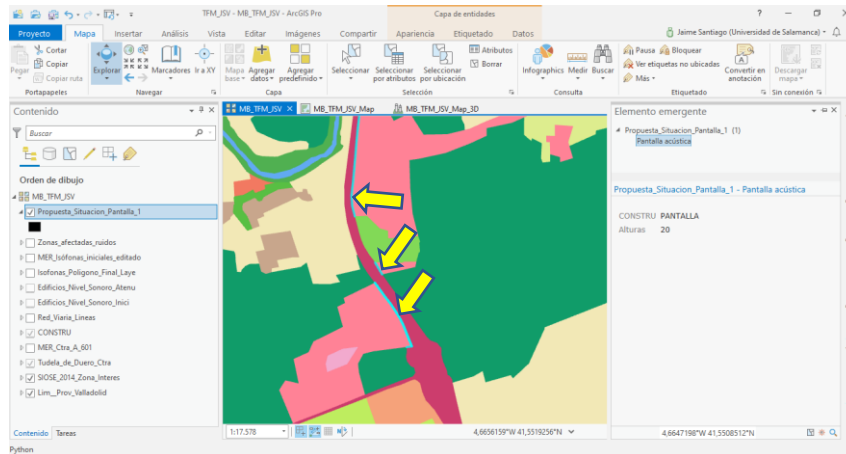


Figura 96. Resultados Cálculo de posible situación de pantalla acústica

- Desarrollar y visualizar mapas sobre la exposición de ruido en edificios posteriormente a la instalación de una pantalla acústica que permitan la visualización del nivel de ruido expuesto

Con las herramientas “Nivel Sonoro Edificios final” y “Edificios 3D Nivel Ruido Atenuado” permiten generar dos capas, en 2D y en 3D respectivamente, que contienen las entidades que definen los edificios a los que se ha dotado de los atributos necesarios que establecen el nivel sonoro final o de exposición al ruido bajo la influencia de una pantalla acústica. Ver Figura 97. Mapa exposición de ruido en edificios posterior a la instalación de una pantalla acústica

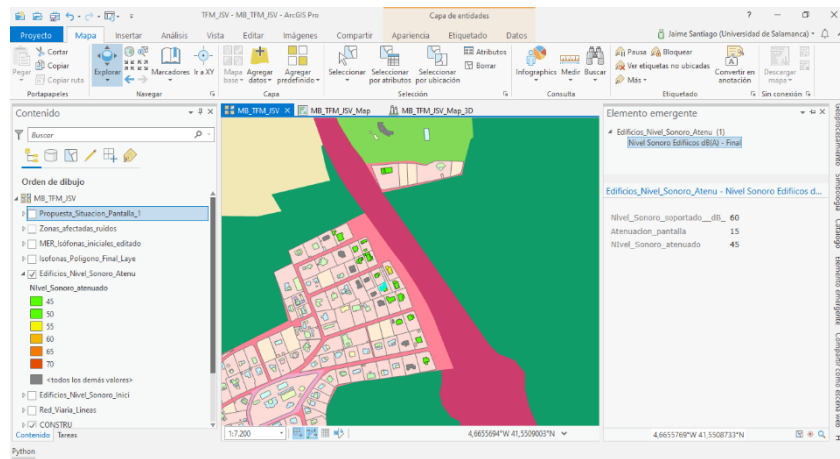


Figura 97. Mapa exposición de ruido en edificios posterior a la instalación de una pantalla acústica

- Producir y reflejar en mapas estratégicos de ruido (MER) de una vía de comunicación en las que hay instalada una pantalla acústica que permita la visualización del nivel de ruido

La herramienta “Cálculos 2D”, realiza el análisis necesario para establecer el mapa de isófonas finales o mapa estratégico de ruido donde se ha tenido en cuenta la influencia de la colocación de una pantalla acústica. Ver Figura 98. Resultado de “Mapas de isófonas finales”

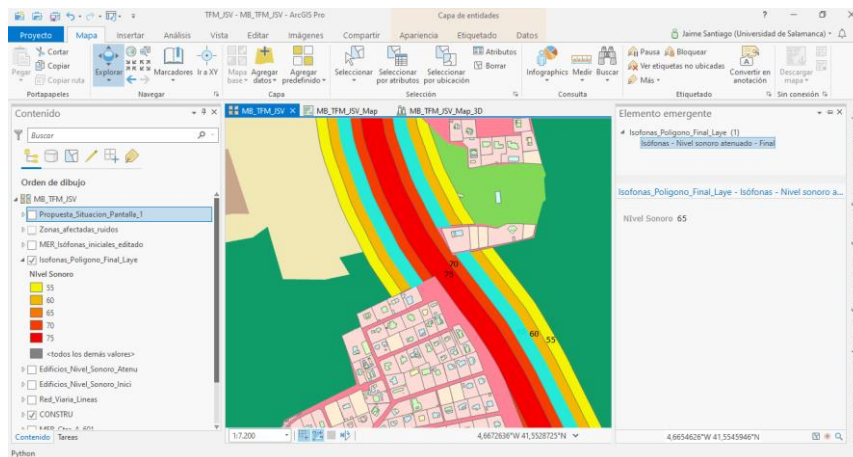


Figura 98. Resultado de “Mapas de isófonas finales”

- Crear y exponer una escena 3d en entorno local, con ArcGIS PRO, que permita una visualización clara de la ubicación de la pantalla acústica, áreas de protección de la misma o zona de sombra, isófonas resultantes, y niveles sonoros de los edificios afectados.

Con las herramientas denominadas “Pantalla Acústica 3D”, “Edificios 3D. Nivel Ruido inicial”, “Edificios 3D. Nivel Ruido atenuado”, “Envolvente Edificios 3D”, “Isófonas Finales 3D”, así como la herramienta “Aplicación de simbología Edificios nivel sonoro atenuado y soportado”, se realiza el modelado de los distintos elementos que componen la escena 3D. Ver Figura 99. Escena 3D creada en entorno local

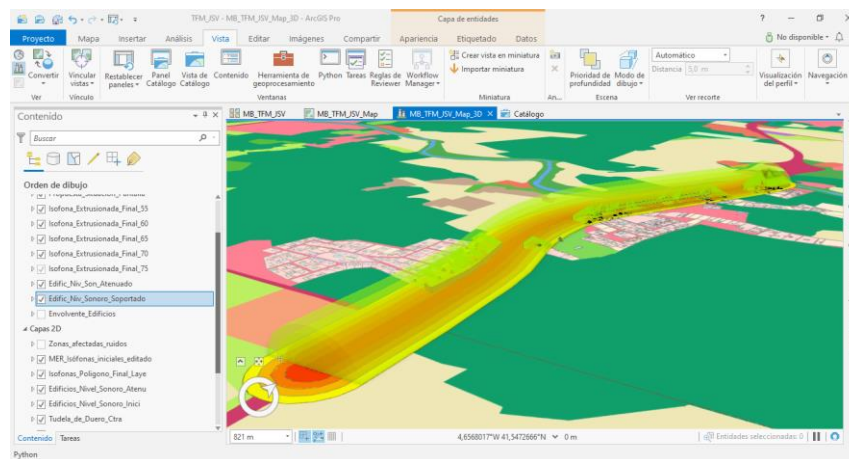


Figura 99. Escena 3D creada en entorno local

- Publicar o compartir mapas 2D en entorno ArcGIS Online

Desde ArcGIS Online se puede acceder a la visualización del mapa web publicado desde la aplicación cliente ArcGIS PRO (Figura 100. Acceso a visualización a Mapa Web desde entorno de ArcGIS Online cuyo resultado se puede observar en la Figura 101. Visualización de Mapa Web publicado en entorno ArcGIS Online

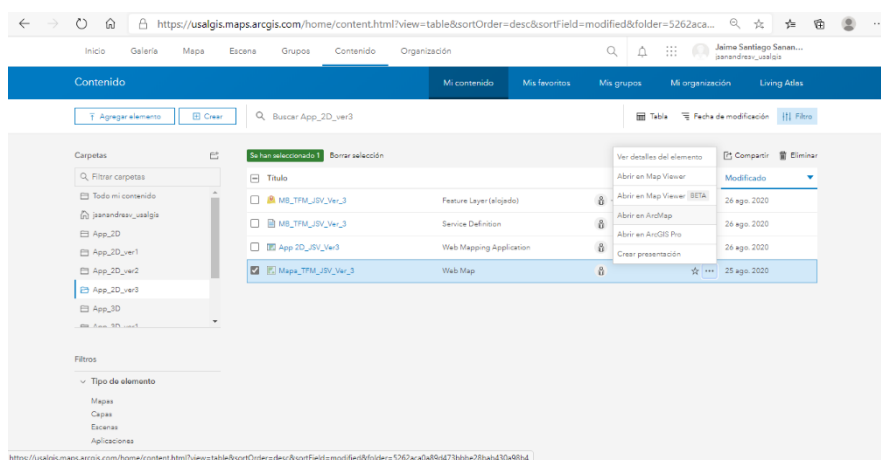


Figura 100. Acceso a visualización a Mapa Web desde entorno de ArcGIS Online

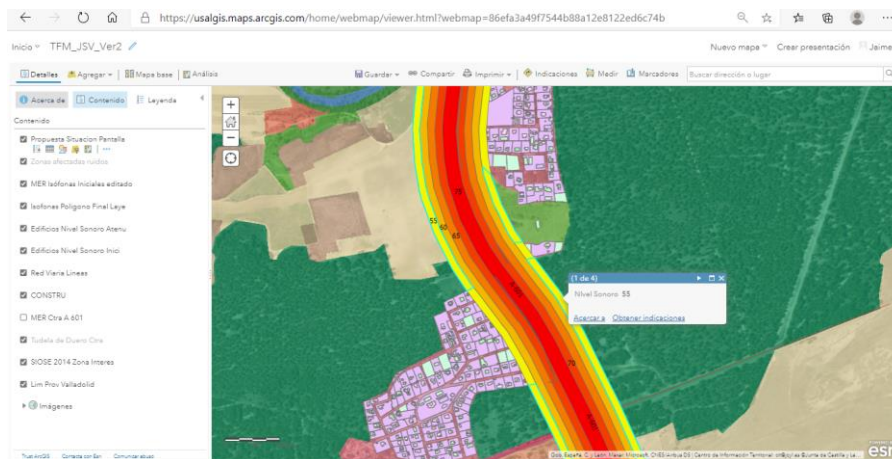


Figura 101. Visualización de Mapa Web publicado en entorno ArcGIS Online

- Publicar o compartir escenas 3D en entorno ArcGIS Online

Desde ArcGIS Online se puede acceder a la visualización de la escena web publicada (Figura 102. Acceso a visualización a Escena Web desde entorno de ArcGIS Online) desde la aplicación cliente ArcGIS PRO cuyo resultado se puede ver en la Figura 103. Visualización de escena 3D publicada en entorno de ArcGIS Online.

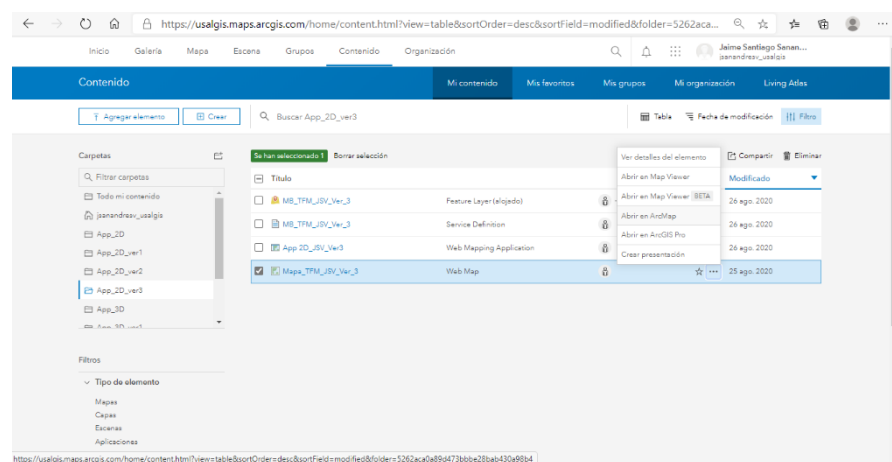


Figura 102. Acceso a visualización a Escena Web desde entorno de ArcGIS Online

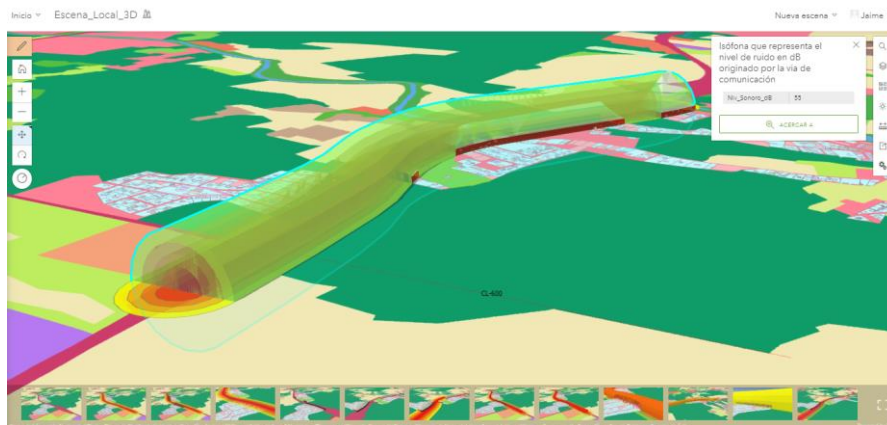
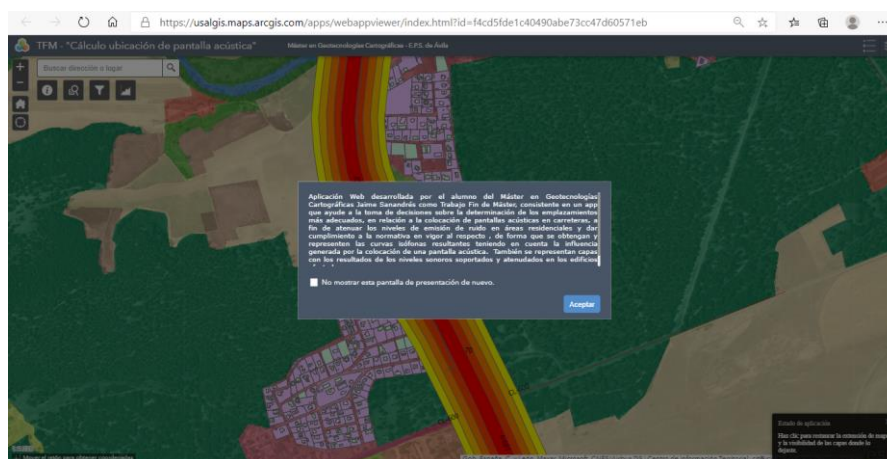


Figura 103. Visualización de escena 3D publicada en entorno de ArcGIS Online

La consecución de los objetivos generales planteados, no hubieran sido posible sin la obtención previa de los distintos objetivos específicos hasta ahora, por lo tanto, es el momento de reunir todos ellos en dos aplicaciones web, según las capas de entidades que se trate de forma que, los potenciales usuarios puedan disponer de sendas herramientas que puedan utilizarse accediendo a un servidor web a través de internet o de una intranet y mediante un navegador, siendo estas las siguientes,

- Aplicación en 2D que muestra los resultados obtenidos tras el análisis espacial sobre la determinación de los emplazamientos más adecuados, en relación a la colocación de pantallas acústicas en carreteras, representación de las curvas isófonas iniciales y finales teniendo en cuenta la influencia generada por la colocación de una pantalla acústica, así como el nivel de exposición al ruido de los edificios afectados antes y después de la instalación de pantalla acústica.



• Figura 104. Pantalla Inicio App 2D

En las figuras siguientes se muestran algunas de las capas de entidades que se pueden observar en el resultado final de la aplicación web en 2D realizada, donde se aglutinan para su visualización las distintas capas obtenidas de los objetivos específicos marcados y donde además se puede interactuar mediante los widgets añadidos y obtener distintas consultas acerca de los edificios que cumplan ciertos requisitos, o la visualización mediante gráficos de la proporción del nivel sonoro de exposición de los edificios de un área determinada. También mediante selección directa se pueden observar ciertos atributos de las entidades mostradas.

Reseñar que la propia aplicación 2D, permite en cada una de las capas, la activación y desactivación de la visibilidad, mostrar u ocultar leyendas, determinar el grado de transparencia, habilitar o deshabilitar elementos emergentes que muestran atributos, ordenar la visualización

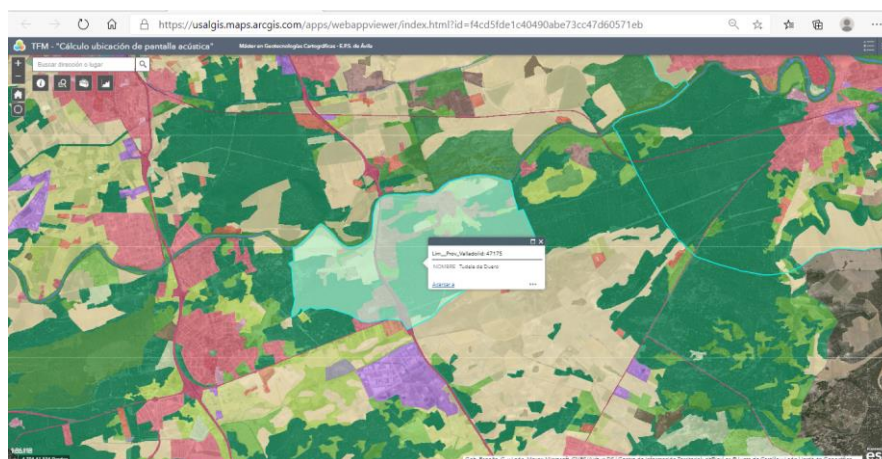


Figura 105. Vista App 2D. Zona de interés

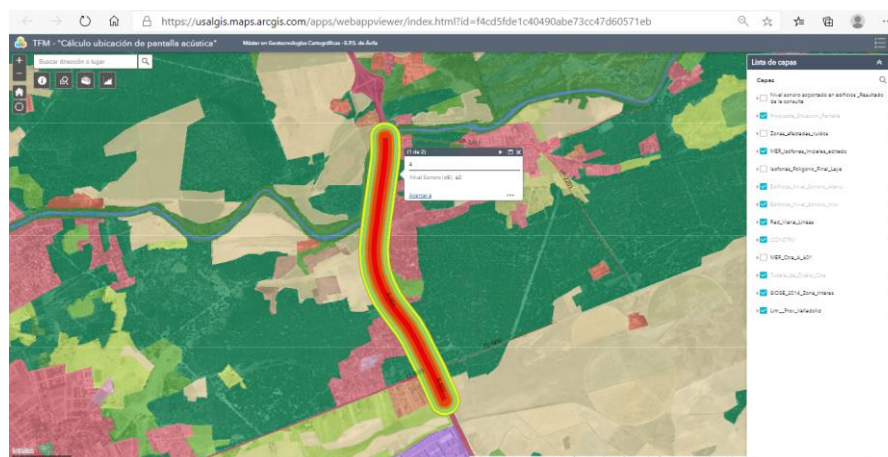


Figura 106. Vista App 2D. Isófonas iniciales



Figura 107. . Vista App 2D. Pantalla acústica



Figura 108. Vista App 2D. Isófonas finales



Figura 109. Vista App 2D. Nivel de ruido expuesto atenuado en edificios



Figura 110. Vista App 2D. Nivel de ruido expuesto soportado en edificios

En la Figura 111. Funcionamiento de widget "Consulta" para "Nivel sonoro soportado en edificios" en App 2D, se puede observar la posibilidad de interacción con la App 2D.



Figura 111. Funcionamiento de widget "Consulta" para "Nivel sonoro soportado en edificios" en App 2D

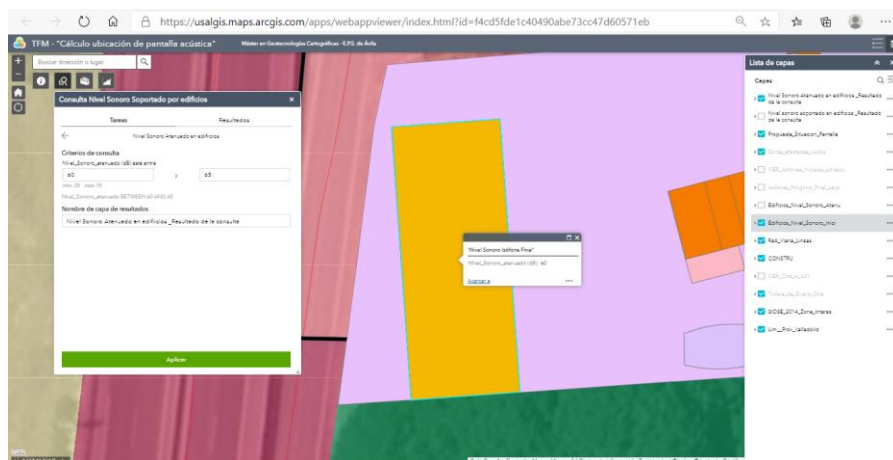


Figura 112. Funcionamiento de widget "Consulta" para "Nivel sonoro atenuado en edificios" en App 2D

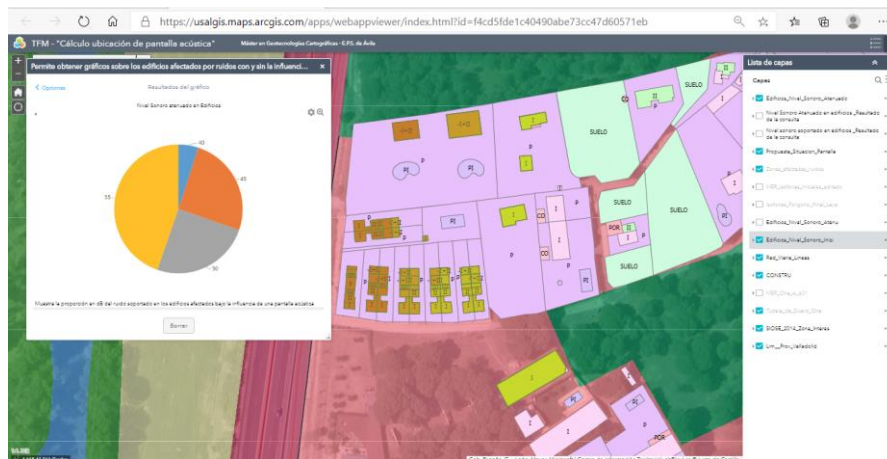


Figura 113. Funcionamiento de widget “Gráfico” para la obtención de proporción de nivel sonoro atenuado en edificios

- Aplicación en 3D que muestra los resultados obtenidos tanto en 2D como en 3D de las entidades que pueden ser representadas como sólidos, tras el análisis espacial sobre la determinación de los emplazamientos más adecuados, en relación a la colocación de pantallas acústicas en carreteras, representación de las curvas isófonas iniciales y finales teniendo en cuenta la influencia generada por la colocación de una pantalla acústica, así como el nivel de exposición al ruido de los edificios afectados antes y después de la instalación de pantalla acústica.

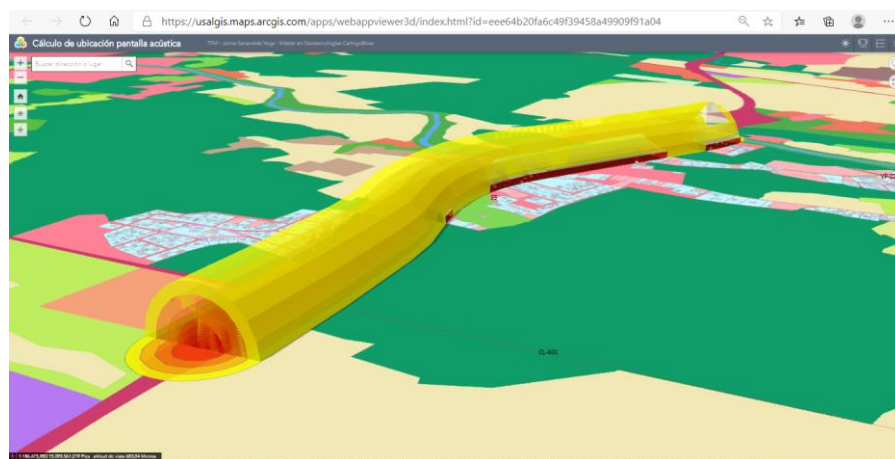


Figura 114. Vista App 3D. Pantalla inicial

En las figuras siguientes se muestran los resultados que arroja la aplicación en 3D que presenta la escena web en la que se pueden visualizar las distintas capas que la componen, desde la ubicación de la pantalla acústica, isófonas iniciales, isófonas finales, nivel sonoro expuesto en edificios inicial y final,



Figura 115 Vista App 3D. Resultado de comprobación de zonas afectadas por ruidos



Figura 116. Vista App 3D. Isófonas Iniciales

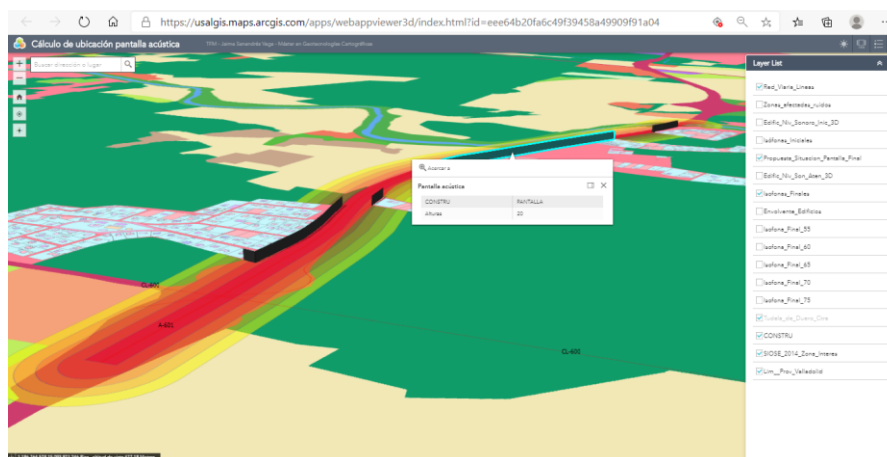


Figura 117. Vista App 3D. Pantalla acústica

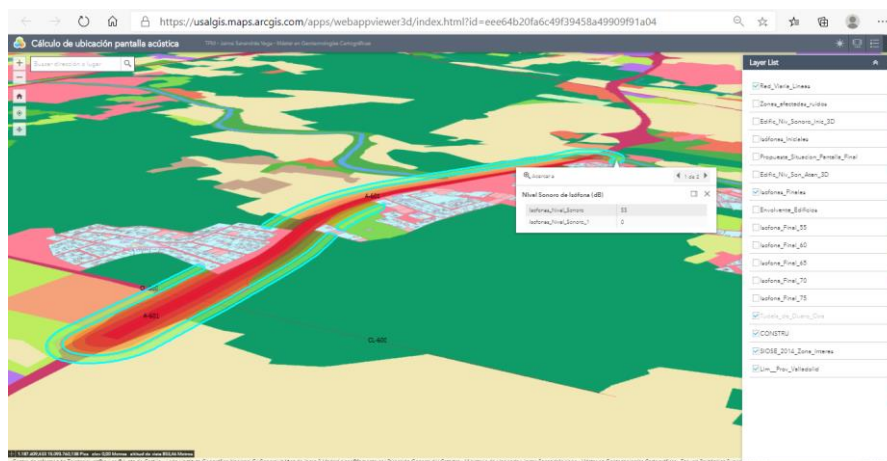


Figura 118. Vista App 3D. Isófonas finales



Figura 119. Vista App 3D. Nivel Sonoro expuesto inicial en edificios

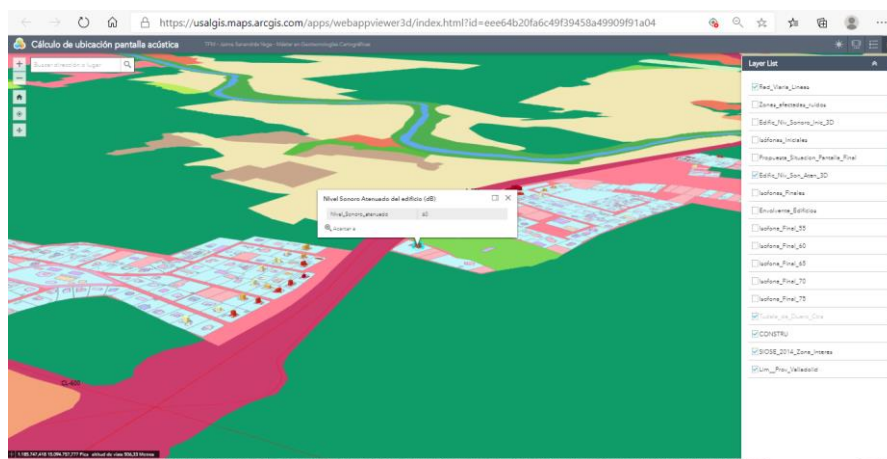


Figura 120. Vista App 3D. Nivel Sonoro expuesto final en edificios

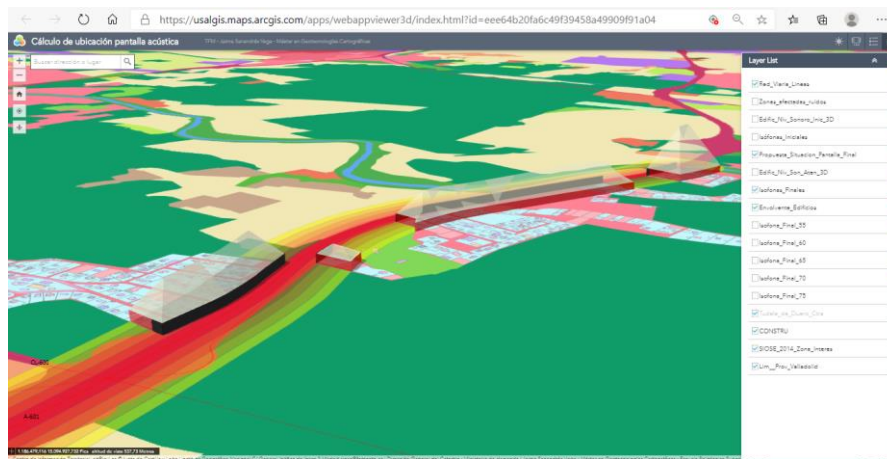


Figura 121. Vista App 3D. Envolvente de edificios o zona de sombra de la pantalla acústica

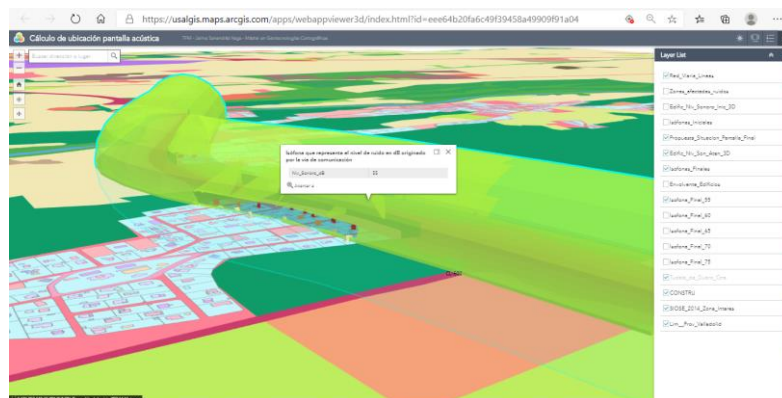


Figura 122. Vista App 3D. Una de las Isófonas finales

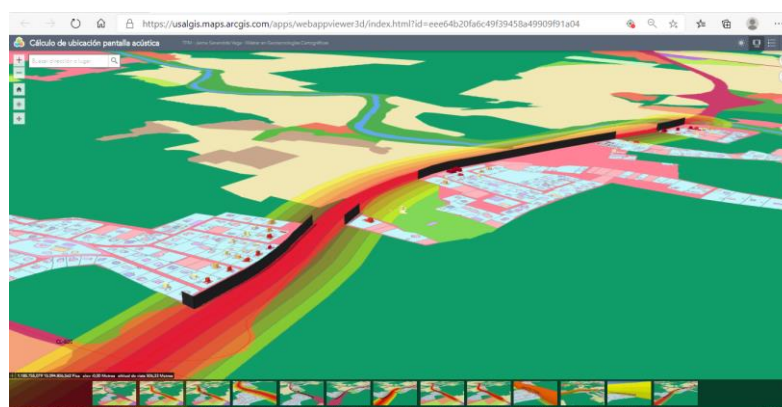


Figura 123. Vista App 3D. Elección de diapositivas preestablecidas.



5.1. Acceso a aplicaciones

En aras de facilitar la valoración del presente trabajo por el Tribunal evaluador se muestran las direcciones URL que dan acceso a cada una de las aplicaciones web creadas, así como las credenciales necesarias.

- App 2D:

<https://usalgis.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=f4cd5fde1c40490abe73cc47d60571eb>

- App 3D:

<https://usalgis.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=eee64b20fa6c49f39458a49909f91a04>

- Credenciales:

Usuario: TribunalTFM

Contraseña: TFMtribunal2020

6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO

La aplicación cliente utilizada para el desarrollo del presente trabajo (ArcGIS PRO), permite trabajar con proyectos de forma que todo el **proceso** quede **centralizado** en un mismo fichero de proyecto, es decir, agrupa en cada caso, los mapas base, mapas, escenas, cajas de herramientas, conexiones a bases de datos externas, estilos y carpetas del propio proyecto, lo cual es una ventaja muy importante frente a otros paquetes informáticos similares. Desde el propio programa se realizan las publicaciones con el entorno ArcGIS Online de forma directa dada la conexión permanente con el sitio web, incluso permitiendo la edición del proyecto desde un entorno web desde cualquier equipo y lugar.

Sin embargo, dado su gran potencial de desarrollo, de opciones, herramientas de geoprocésamiento, es muy importante tener unos **conocimientos previos** en el manejo de este tipo de software, ya que de lo contrario conllevará, como así ha sido, una gran cantidad de tiempo en familiarizarse, aprender y comprender como funcionan las aplicaciones o herramientas del programa.

Desde el inicio del planteamiento del TFM, las **expectativas** generadas han sido muy importantes, pretendiendo desde el inicio la creación de una aplicación web 2D en la que se implemente una herramienta, que ejecutada sobre un conjunto de geoprocésos de forma secuencial, en la que a partir de ciertas capas de datos iniciales definidas en el apartado 4.1 Búsqueda, obtención, organización e integración en una BBDD gráfica de los datos iniciales, arroje finalmente las capas que contengan los resultados deseados como se expone en el Apartado 5 RESULTADOS, sin ninguna otra interacción con la app.

El objetivo de diseño, ejecución y obtención de resultados con una única herramienta, se ha conseguido ejecutar en un entorno local (Ver Apéndice V Herramienta. Cálculos 2D), no pudiendo realizarse su implementación vía web como geoprocésos en una app 2D debido a **problemas con el licenciamiento** disponible en ArcGIS Online no permitiendo la publicación de la herramienta. Ver Figura 124. Mensaje de error en la publicación de herramientas en ArcGIS Online.

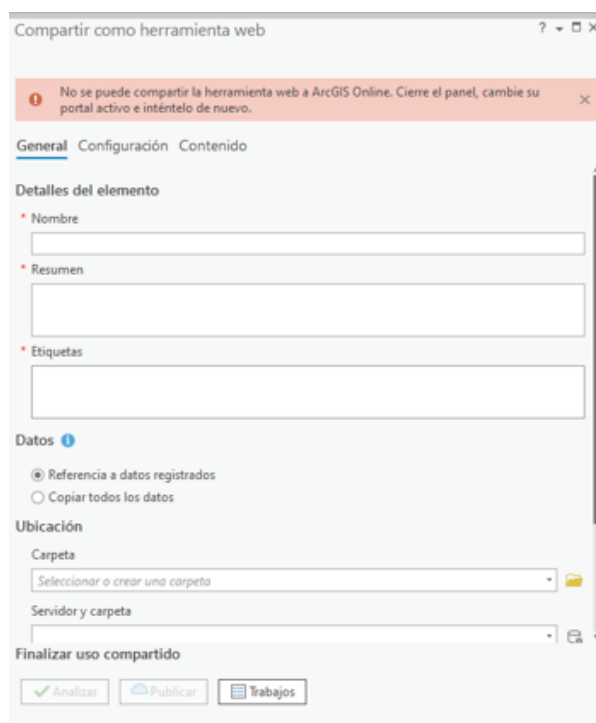


Figura 124. Mensaje de error en la publicación de herramientas en ArcGIS Online

Con el hándicap tan importante surgido a raíz de no poder publicar/compartir e implementar la herramienta diseñada, una parte del **concepto inicial** de aplicación web planteado tiene que ser **modificado** de forma que, la aplicación web mostrará la representación web de los resultados obtenidos (Ver Apartado 5 RESULTADOS) mediante la ejecución de la herramienta diseñada en un entorno local, a lo que se añadirán distintas opciones interacción por parte del usuario con los resultados obtenidos.

Los **resultados** obtenidos, en general han sido **satisfactorios**, en tanto en cuanto se han conseguido los distintos objetivos marcados, los cuales han quedado plasmados de forma pormenorizada en el apartado denominado 5. RESULTADOS.

No obstante, y muy a tener en cuenta, es la **diferencia** entre los resultados que puede ofrecer un software **CAD** y un software **GIS**, tienen mucho en común ya que ambos manejan referencias espaciales y permiten la creación de mapas y planos pero un software SIG, permite la gestión, edición, análisis, modelado y representación de datos georreferenciados, para resolver problemáticas de planificación y gestión mientras que CAD, es un conjunto de herramientas que permiten el dibujo 2D y el modelado 3D.

Por otro lado, y vistos los resultados obtenidos en 2D, se adopta la decisión de **complementar el trabajo**, diseñando, nuevamente, una única herramienta que obtenga los sólidos en 3D de las capas de entidades obtenidas al igual que en el caso de 2D, en entorno local para después implementar los resultados en una **aplicación adicional en 3D**. Sin embargo, el diseño de esta herramienta única que defina todos los sólidos en 3D de las entidades (pantalla acústica, edificios, zonas de sombra, isófonas finales, etc.) tampoco es posible debido a que cuando se ejecuta el geoproceso denominado “Entidades de City Engine”, se produce una parada forzada del modelo, por lo que es necesario subdividir la herramienta en tantas partes como número de veces haya que aplicar el geoproceso que está provocando la parada.

Es por lo anterior, lo que conlleva a la necesidad de la **creación de las herramientas** descritas en los Apéndice VIII, Apéndice IX, Apéndice X, Apéndice XI y Apéndice XII que tras su ejecución en entorno local, arrojan las distintas capas de entidades multiparce que compondrán la escena 3D. Estas capas obtenidas forman una escena 3D, que publicada/compartida en ArcGIS Online es utilizada para la creación de una app 3D que muestre la escena web (Ver Apartado 5 RESULTADOS).

Durante la elaboración de la **aplicación 3D** a través de ArcGIS Online, se han notado multitud de **diferencias** con respecto a creación de la **aplicación en 2D**, lo que se traduce en multitud carencias comparado con la aplicación en 2D, lo que hace pensar en la posibilidad de que en el momento de la redacción de la presente memoria los trabajos de desarrollo en Arcgis Online en lo que a aplicaciones 3D se refiere estén orientados hacia este punto.

Ventajas muy importantes a tener en cuenta para fomentar e impulsar las **aplicaciones web** es la ausencia total de la necesidad de disponer de software específico, así como la independencia del sistema operativo instalado en cada ordenador, además de la facilidad de la actualización de los datos y mantenimiento de la propia aplicación.

Aunque no ha sido posible la implementación de las herramientas diseñadas en una aplicación web para su posterior ejecución, se ha podido constatar fundamentalmente

la gran cantidad de posibilidades que se presentan, de cara a la realización de diseños, ejecución de análisis espaciales, e implementación en apps, de todo tipo de modelos que se ajusten de una forma personalizada a cualquier tipo de problemática que pueda ser resuelta mediante el análisis espacial o geoprocesamiento. Esto se debe a la grandísima elasticidad que ofrece ArcGIS PRO al permitir el diseño de los distintos modelos de geoprocesamiento por parte del usuario de forma que se ajuste a las necesidades que pudieran plantearse.

Así mismo, y como **futuras líneas de desarrollo** o ampliación del trabajo realizado, se encuentra la propia **implementación de las herramientas** diseñadas **en la aplicación web** para su posterior ejecución y análisis en un entorno web, adicionalmente y comprobada la inexistencia de Mapas Estratégicos de Ruido en la red secundaria de carreteras e incluso de rango inferior, se podría plantear el desarrollo de **herramientas** que ejecuten el **cálculo y visualización de los mapas estratégicos de ruido** de las vías de comunicación a partir de los datos de aforo de tráfico para después a partir de los datos de edificaciones existentes, topografía, etc..., poder **obtener los mapas de exposición al ruido ambiental** de los edificios existentes e incluso la valoración si fuera necesario de la instalación de barreras o pantallas acústicas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acústica, D. d. (2020). *Universidad Politécnica de Cataluña*. Obtenido de https://ocw.upc.edu/webs/42254/Acustica_ES/temes_index.html#T08
- Alegre, D. (2008). Medidas correctoras de impacto acustico en infraestructuras. *Anales de mecánica y electricidad*, 12 - 19.
- Bermejo, E. (2020). *Asociación Geo Innova*. Obtenido de <https://geoinnova.org/>
- Ecológica, M. p. (2020). *Sistema de Información sobre Contaminación Acústica*. Obtenido de <http://sicaweb.cedex.es/>
- ESRI. (2020). *ArcGIS Resources*. Obtenido de ArcGIS Online: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000v000000.htm#:~:text=ArcGIS%20Online%20es%20un%20sistema,contenido%20SIG%2C%20mapas%20y%20aplicaciones.&text=Se%20trata%20de%20un%20sistema,sitios%20Web%20de%20usuarios%20finales>.
- García, A., & Faus, L. (1991). Statistical analysis of noise levels in urban areas. *Applied Acoustics*, 227 - 247.
- López, M. R. (1999). *"El ruido acústico: fuentes y molestias"*. *Ingeniería Acústica*. Paraninfo. Obtenido de https://ocw.upc.edu/webs/42254/Acustica_ES/temes_index.html#T08.
- Marta Serrano Pérez, L. A. (2009). ESTUDIO DE LA TIPOLOGÍA DE LAS PANTALLAS ACÚSTICAS. *Tecnología y Desarrollo (Universidad Alfonso X El Sabio)*.
- Ramos. (s.f.). Obtenido de http://www.ugr.es/~ramosr/CAMINOS/MAPAS_ESTRAT_BARRERAS.pdf
- Segura Mateu, F. (2013). Diseño de pantallas acústicas para reducir costes de fabricación.

Apéndice I. Barreras acústicas. Tipos

A tenor de lo expuesto en el apartado 2.6. Medidas correctoras a aplicar en el medio de propagación se pueden describir distintos los tipos de barreras acústicas (Alegre, 2008) como son,

- **Pantallas acústicas:** son un tipo de barrera acústica vertical realizada con distintos tipos de materiales mayoritariamente aislantes¹⁵, que presentan una gran resistencia a la propagación del sonido. Pueden adoptar formas, tanto planas como curvas.
- **Diques de tierra:** Están formados por caballones de tierra de gran anchura en la base y de altura variable recubiertos de una capa vegetal. Su uso está limitado en cuanto a la necesidad de disponer de mucho espacio para su ubicación.
- **Barreras Vegetales:** Son barreras acústicas formadas por vegetación, cuyo funcionamiento está basado en la capacidad de absorción y refracción del sonido por la propia vegetación. Su capacidad de reducción del ruido es muy limitada debido a que se necesitan una gran anchura, del orden de 50 m para obtener reducciones de ruido de 2 a 3 dB(A), por lo que no resultan muy eficaces y por ello se utilizan en combinación con otros tipos de barreras acústicas como los diques de tierra. Figura 125. Barrera acústica vegetal. Fuente: agrogreenspain.es

¹⁵ Los materiales **absorbentes acústicos**, son materiales ligeros, flexibles y de baja densidad. Por ejemplo, fibras minerales (fibra de vidrio, lana de roca), espumas acústicas (poliuretano, melamina) y textiles (poliéster, algodón). Los materiales **aislantes acústicos**, son materiales de alta densidad, mas pesados y más rígidos, siendo los más comúnmente utilizados los materiales de construcción el hormigón, bloques cerámicos, algunos metales, o materiales de densidad media, como las placas de yeso laminado y maderas

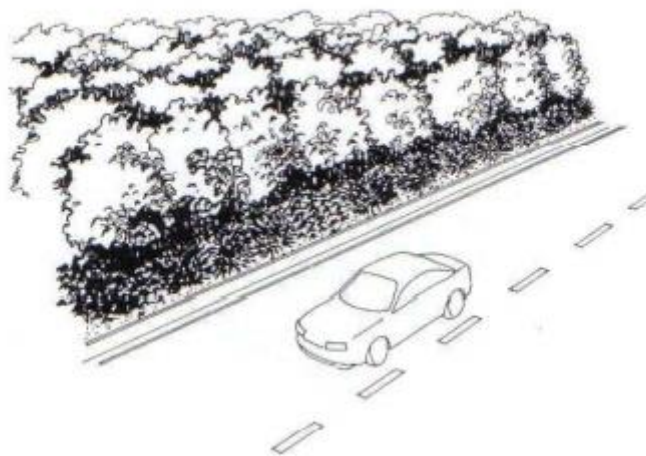


Figura 125. Barrera acústica vegetal. Fuente: agrogreenspain.es

- **Construcciones mixtas:** combinan distintos tipos de barreras acústicas como diques de tierra y pantalla acústica en su coronación, dique con elementos de contención de tierras ajardinables. Ver Figura 126. Barrera acústica mixta. Fuente: www.tierraarmada.com



Figura 126. Barrera acústica mixta. Fuente: www.tierraarmada.com

- **Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación:** este tipo de solución es muy poco utilizada, aunque en el mercado existe alguna solución que cubre total o parcialmente la vía mediante elementos ligeros como pueden ser paneles modulares, cubiertas translúcidas o transparentes. Ver Figura 127. Puente de túnel en autopista, Zhanxi, China. Fuente: palram.com



Figura 127. Puente de túnel en autopista, Zhanxi, China. Fuente: palram.com

- **Dispositivos especiales:** como por ejemplo aquellos dedicados a la reducción de ruido en las juntas de dilatación existentes en puentes o viaductos.
- **Tratamientos absorbentes:** son utilizados para aumentar el grado de absorción acústica de distintos elementos de infraestructuras como muros, mediante su utilización a modo de recubrimiento. Ver Figura 128. Revestimiento de muro con panel fonoabsorbente. Fuente: metalesa.com



Figura 128. Revestimiento de muro con panel fonoabsorbente. Fuente: metalesa.com

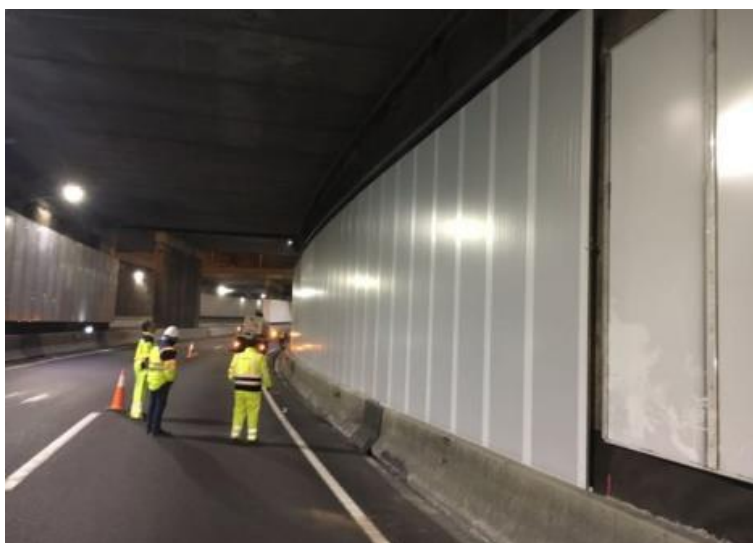


Figura 129. Revestimiento de muro. Fuente: insametal.es

Apéndice II. Pantallas acústicas. Tipos

Como se ha enunciado en el apartado 2.6. Medidas correctoras a aplicar en el medio de propagación, el coeficiente de absorción sonora de una pantalla acústica, mide la cantidad de energía producida por la onda sonora que se refleja hacia la fuente emisora del ruido, mientras que el coeficiente de aislamiento acústico mide la cantidad de energía de la onda sonora que atraviesa la pantalla acústica.

Por tanto, según las características de absorción frente al ruido, las pantallas acústicas se pueden clasificar en,

- **Pantallas acústicas reflectantes**, son aquellas que tienen un índice de absorción muy bajo
- **Pantallas acústicas absorbentes**, por el contrario, serán las que tengan un índice de absorción acústica alto o muy alto

También se pueden clasificar las pantallas acústicas en base a los materiales de los que están fabricadas, siendo los más utilizados,

- **Elementos metálicos:** Son de tipo absorbente y suelen estar realizadas en chapa perforada de acero o aluminio, aportando una buena absorción acústica. En función del espesor registran un buen aislamiento acústico. Estas pantallas metálicas absorbentes también llamadas de tipo “sándwich” contienen un núcleo relleno de un material absorbente acústico. También las pantallas acústicas metálicas pueden ser reflectantes estando formadas por sendas chapas metálicas en sus caras y un núcleo libre de entre 10 y 15 cm. Ver Figura 130. Panel de pantalla acústica tipo sándwich, y Figura 131. Pantalla acústica metálica reflectante. Fuente: metalesa.com

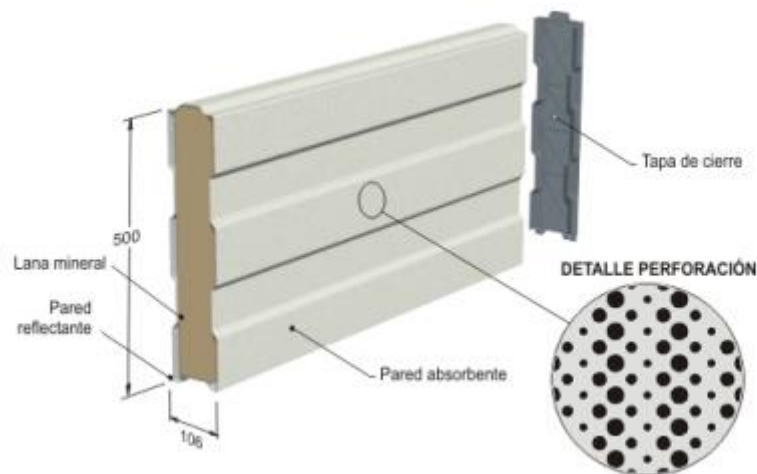


Figura 130. Panel de pantalla acústica tipo sándwich. Fuente: www.ugr.es



Figura 131. Pantalla acústica metálica reflectante. Fuente: metalesa.com

- **Hormigón:** es un material que, al ser moldeable, se pueden conseguir incluso propiedades absorbentes del sonido. Además, también se puede diseñar su geometría, dándole relieve, de forma que cuando incida sobre ella una onda acústica, el hormigón pueda tener forma de difusor de tal manera que, se pueda redirigir la onda sonora reflejada contribuyendo a una mayor atenuación.

Generalmente las pantallas acústicas de hormigón están formadas por dos capas, una primera con un espesor suficiente que le confiere

estabilidad mecánica y que tiene cierta capacidad de aislamiento acústico y una segunda capa ejecutada con hormigón poroso, con relieves que actuarán como un difusor y que le dan una pequeña capacidad de absorción acústica. Ver Figura 132. Pantalla acústica de hormigón. Fuente: insametal.es



Figura 132. Pantalla acústica de hormigón. Fuente: insametal.es

- **Madera**, son pantallas acústicas que tienen un buen aislamiento acústico y un alto grado de absorción acústica. Tienen un alto coste de mantenimiento. Ver Figura 133. Pantalla acústica de madera. Fuente: insametal.es



Figura 133. Pantalla acústica de madera. Fuente: insametal.es

- **Transparentes:** son pantallas acústicas reflectantes, y suelen estar realizadas en vidrio, policarbonato, polimetacrilato, etc... Muy utilizadas en tableros de puentes y zonas altas de taludes, así como en ubicaciones cercanas a viviendas debido a que permiten la visibilidad a través de las mismas. Ver Figura 134. Pantalla acústica de vidrio. Fuente: postigo.es, y Figura 135. Pantalla acústica de metacrilato. Fuente: metalesa.com



Figura 134. Pantalla acústica de vidrio. Fuente: postigo.es



Figura 135. Pantalla acústica de metacrilato. Fuente: metalesa.com

- **Vegetal:** Tienen un índice de absorción y atenuación acústica muy bajo. Están realizadas mediante una estructura autoportante que

contiene huecos donde se rellenan con tierra y se plantan las especies vegetales .



Figura 136. Pantalla acústica vegetal. Fuente: Google.es

- **Cerámicos:** son ladrillos perforados y en una de sus caras tienen ciertas propiedades acústicas actuando los huecos como resonadores. Ver Figura 137. Ladrillo fonoabsorbente. Fuente: Cerámicas Mazarrón y Figura 138. Pantalla acústica formada por elementos cerámicos. Fuente: www.teoriadeconstruccion.net



Figura 137. Ladrillo fonoabsorbente. Fuente: Cerámicas Mazarrón



Figura 138. Pantalla acústica formada por elementos cerámicos. Fuente: www.teoriadeconstruccion.net

Apéndice III. Diseño de una pantalla acústica

El diseño de una pantalla acústica puede resultar un proceso muy complejo debido al análisis de los factores que intervienen, resultando ser,

- *Identificación, análisis y cuantificación de la problemática*, determinando la ubicación precisa de lugar o lugares que presenta un problema de contaminación acústica, y el cálculo del nivel de reducción de ruido a aportar por la pantalla o lo que es lo mismo la eficacia de la misma. Es en este punto donde se analiza el nivel sonoro al que está expuesto el receptor y se compara con el nivel sonoro límite permitido por la normativa en vigor para el uso de suelo que se trate y así poder determinar por diferencia, la eficacia necesaria de la pantalla acústica
- *Determinación de la ubicación de la pantalla con respecto a la vía de comunicación emisora del ruido*. Cuanto más cerca esté situada la pantalla del emisor más eficaz será, teniendo en cuenta que muchas veces esta ubicación está limitada por la disponibilidad del propio terreno o las condiciones de seguridad vial. Este apartado se abordará de forma más

detallada en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

PROCESO DE TRABAJO.

- *Diseño geométrico de la pantalla*, consistente en la determinación de la longitud y de la altura, se suele realizar mediante software tridimensional. Un método sencillo que nos sirve para realizar un predimensionamiento de la pantalla acústica es el denominado “Método Simple de la Guide Du Bruit”, cuya explicación se expone en el Apéndice XII.
- *Diseño constructivo*: las pantallas acústicas están constituidas por una cimentación, una estructura de soporte y paneles realizados con materiales de características acústicas. Ver Figura 139. Partes de una pantalla acústica.
Fuente: www.metalesa.com

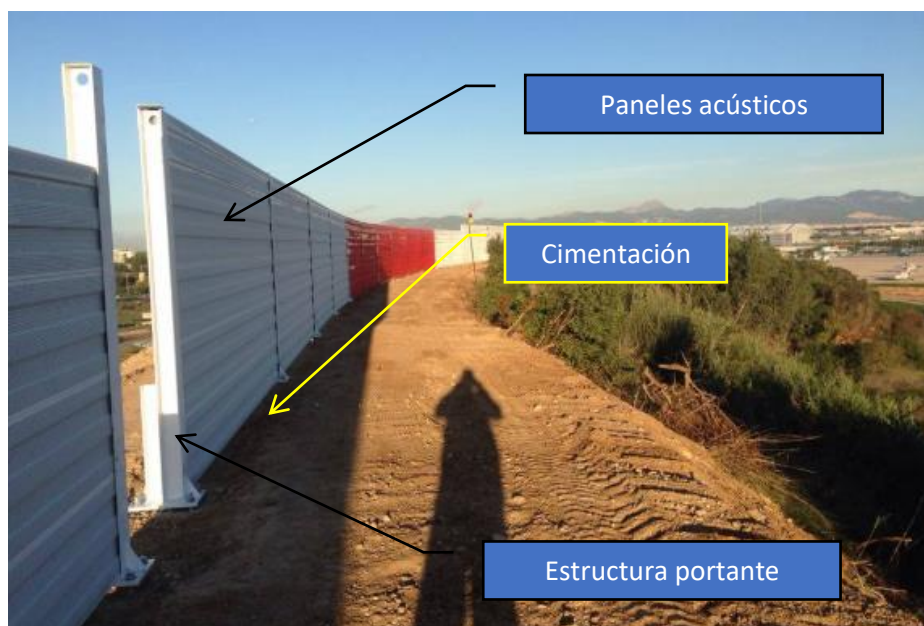


Figura 139. Partes de una pantalla acústica. Fuente: www.metalesa.com

No obstante, hay que tener en cuenta que es mucho más interesante el cálculo de una pantalla cuanto más pequeña sea su altura y que además no sean excesivamente largas, además es erróneo el considerar disminuir la altura a costa de aumentar la longitud a partir de cierto punto. La cimentación de las pantallas de gran altura puede aumentar mucho los costes. La eficacia máxima de las pantallas acústicas es raramente superior a 15 o 16 dBA, por lo que bastará con asegurar unas pérdidas por transmisión del orden indicado, de 25 a 26 dBA (D. Alegre 2008).

Apéndice IV. Herramienta. Comprobación previa.

Verifica la posible existencia de áreas de uso residencial que pudieran estar afectas por la emisión de ruidos de una vía de comunicación tomando como datos de partida las capas que contienen la información gráfica georreferenciada sobre la Red Viaria de Castilla y León (Red_Viaria_Lineas), el área administrativa de la zona de estudio (Tudela_de_Duero_Ctra), Usos del Suelo (SIOSE_2014_Zona_Interes), así como distintas tablas que relacionan la información sobre los límites de inmisión de ruidos con las áreas acústicas (Tabla_Tipo_Area_ruido_a_Limites), con los tipos de áreas acústicas (Tabla_Area_Ruido_a_Tipo_Area) y con los usos del suelo (Tabla_CODIIGE_a_Area_Ruido). Ver Figura 140. Esquema general Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia.

Como parámetros de entrada a definir por el usuario se han determinado,

- Red_Viaria -> vía de comunicación
- SIOSE -> coberturas del suelo
- Tudela_de_Duero_Ctra -> límite administrativo de la zona de interés



Figura 140. Esquema general Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia

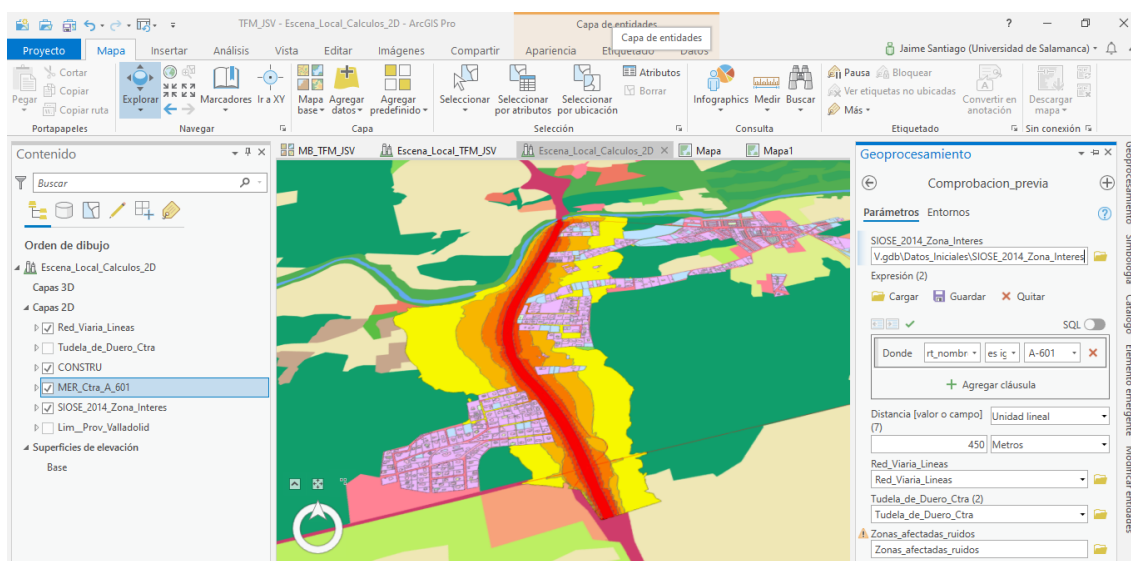


Figura 141. Herramienta Comprobación previa antes de su ejecución

• Etapa 1: “Cálculo del eje de la zona de influencia”

Se toman como datos iniciales los referidos a la Red Viaria de Carreteras de Castilla y León, extrayendo el eje de la carretera que se está estudiando como fuente emisora de ruidos, (Autovía A-601) utilizando el geoproceto “Seleccionar”¹⁶ para después y junto con la información sobre la zona administrativa del área de estudio aplicar el geoproceto denominado “Intersecar”¹⁷ y obteniendo una capa de entidades tipo línea que contienen exclusivamente la información sobre la red viaria de carreteras de la zona de interés.

La aplicación del geoproceto “Generar puntos a lo largo de líneas”¹⁸, se justifica debido a la necesidad de disponer de un eje de carreteras bien definido, ya que la entidad obtenida tiene muy pocos puntos que la definen, siendo esto un hándicap muy importante para la utilización de los geoprocetos siguientes. Esta clase de entidad de tipo punto se transformará a una clase de entidad tipo línea mediante el geoproceto denominado “De punto a línea”¹⁹ obteniendo una clase de entidad tipo línea, “Eje_de_carretera”, que contendrá el eje de la vía de comunicación que emite los ruidos del área de estudio considerada

¹⁶ Extrae entidades de una clase de entidad de entrada o una capa de entidades de entrada, generalmente mediante una expresión de selección o de Lenguaje estructurado de consultas (SQL) y las almacena en una clase de entidad de salida.

¹⁷ Calcula una intersección geométrica de las entidades de entrada. Las entidades o partes de entidades que se superponen en todas las capas y/o clases de entidad se escriben en la clase de entidad de salida.

¹⁸ Crea entidades de puntos a lo largo de líneas o polígonos a intervalos fijos o por porcentaje

¹⁹ Crea entidades de línea a partir de puntos

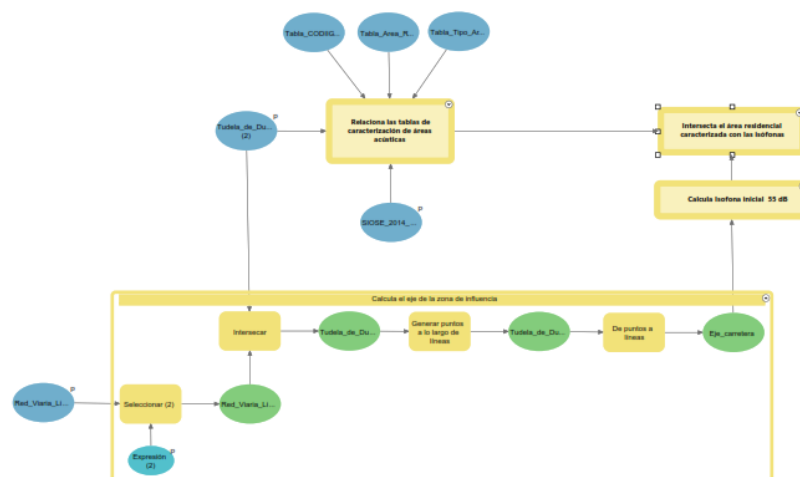


Figura 142. Etapa 1 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia

- Etapa 2: “Relación entre las tablas de caracterización de zonas acústicas”

Se relacionan las áreas acústicas definidas en la Tabla 3. Correlación entre Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007 y Tipo de Área Acústica. Art. 8 Ley 5/2009, del Ruido de CyL., con los umbrales o límites de ruido enumerados en la Tabla 4. Valores Límite de niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas nuevas. , o en la Tabla 5. Valores Límite de Niveles sonoros ambientales en Áreas Urbanizadas existentes. , según el caso para un área receptora dada, mediante el geoproceso “Agregar unión”²⁰ obteniendo una capa denominada “Tipo_area_ruido_a_limi”. Aplicando nuevamente el geoproceso “Agregar unión” se relacionará la tabla anterior con la que contiene la información sobre los usos del suelo del suelo definidos en Tabla 6. Correlación de Usos del Suelo, Áreas Acústicas, Tipos de Áreas de sensibilidad Acústica y Valores Límite de niveles sonoros ambientales, resultando la capa “Tabla_CODIGE_a_Area_Ruido”.

Por otro lado, a partir de la clase de entidad tipo polígono que contiene la información sobre la cobertura del suelo de la zona de interés y la capa que define el área administrativa de la zona de estudio tipo línea, se generará una nueva clase de entidad sobre la cobertura del suelo más reducida mediante el geoproceso “Intersecar” que recibe el nombre de “SIOSE_zona_interes”.

²⁰ Une una capa a otra capa o tabla basándose en un campo común. Se admiten capas de entidades, vistas de tabla y capas ráster con una tabla de atributos ráster. Los registros en la Tabla a unir se hacen concordar con los registros en el Nombre de capa de entrada. Se realiza una concordancia cuando los valores del campo de unión de entrada y del campo de unión de salida son iguales. Esta unión es temporal.

Con el geoproceso “Agregar unión” se relacionarán las capas anteriores (Tabla_CODIIGE_a_Area_Ruido y SIOSE_zona_interes) quedando definidos los límites de inmisión, áreas acústicas, y tipos de áreas acústicas de las coberturas de suelo de la zona de interés en la capa denominada “SIOSE_zona_interes_layer”. Por último, y dado que en este caso solamente se tratan las áreas de uso residencial, se aplicará el geoproceso “Seleccionar” a la capa, obteniendo así una clase de entidad tipo polígono que contiene la información de la cobertura del suelo de tipo residencial, así como los límites, áreas y tipos de áreas acústicas, “Selección_area_acustica_Residencial”. Para una mejor comprensión de esta segunda etapa puede observarse la Figura 143. Etapa 2 de la Herramienta “Comprobación previa”.

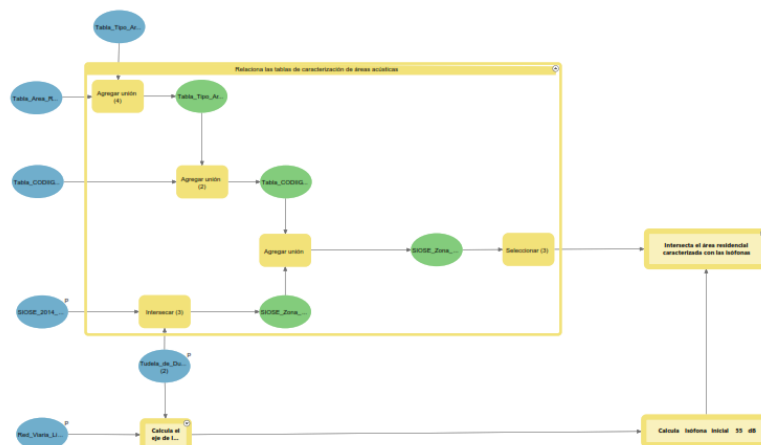


Figura 143. Etapa 2 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia

- Etapa 3: “Cálculo de isófono inicial de 55 dB”

Se utiliza como dato de entrada la clase de entidad tipo línea obtenida como resultado en la etapa 1, “Cálculo del eje de la zona de influencia”, a la que se aplicarán distintos geoprocesos encaminados a la obtención de la isófono más alejada del eje de la carretera, que determinaría el límite del umbral de ruido establecido por la normativa vigente. Cabe recordar que, en este TFM se ha tomado como umbral, el valor de 55 dB que correspondería al límite de presión sonora para el período nocturno de un área de uso residencial, y una emisión de ruido desde la vía de comunicación determinada para el período promedio L_{den} por lo que se estaría siempre en el lado de la seguridad.

El primer paso de esta tercera etapa consiste en la aplicación del geoproceso “Zona de influencia”²¹ para una distancia determinada²², siendo esta, a la que se encuentra la línea isófona que une todos los puntos cuya presión sonora es de 55 dB medida desde el eje de la carretera. Utilizamos la isófona de 55 dB, dado que sería la primera fuera de los límites de ruido establecidos por la normativa en vigor. A esta clase de entidad obtenida de tipo polígono se le aplica el geoproceso denominado “De polígono a línea”²³, convirtiéndose así en una clase de entidad de tipo línea a la que se le van a agregar ejecutando el geoproceso denominado “Agregar campo”²⁴ dos nuevos atributos denominados “Nivel Sonoro” y “Distancia al eje” en los que se introducirán mediante el geoproceso “Calcular campo”²⁵ los valores del nivel sonoro de la isófona (55 dB) y la distancia al eje de la misma (125 m) respectivamente, finalizando con la utilización del geoproceso “De entidad a polígono”²⁶ dado que para la ejecución de la siguiente etapa es necesario que las clases de entidad de entrada sean de tipo polígono. Ver Figura 144. Etapa 3 de la Herramienta “Comprobación previa”, resultando finalmente una clase de entidad tipo.

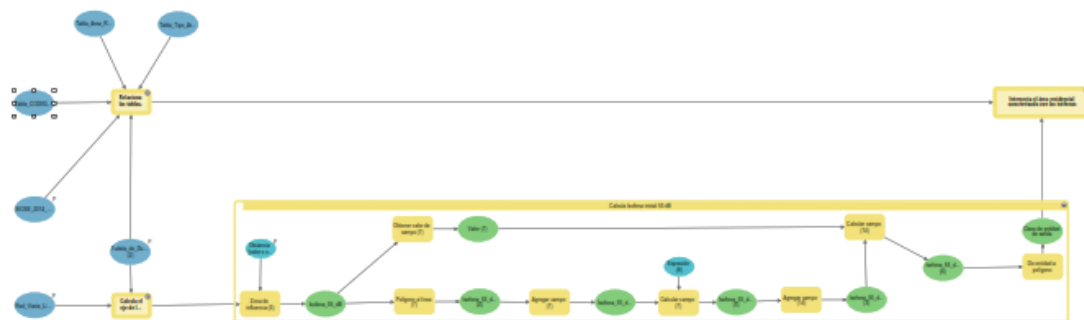


Figura 144. Etapa 3 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia

• Etapa 4: “Intersecta el área residencial caracterizada con las isófonas”

En la etapa final de esta herramienta, mediante el geoproceso “Interseccionar” se toman las clases de entidad “Selección_area_acustica_Residencial” obtenida en la etapa 2 y la clase de

²¹ Crea polígonos de zona de influencia alrededor de entidades de entrada a una distancia especificada

²² Las distancias a las que se encuentran las curvas isófonas que se han utilizado para este TFM han sido estimadas con el objeto de dotarle de un carácter más representativo y didáctico. Para la curva isófona de 55 dB se ha tomado una distancia con respecto al eje de la vía de comunicación de 125 m.

²³ Crea una clase de entidad que contiene líneas convertidas a partir de límites de polígonos con o sin consideración de los polígonos adyacentes.

²⁴ Agrega un nuevo campo a una tabla o la tabla de una clase de entidad, capa de entidades o rásteres con tablas de atributo

²⁵ Calcula los valores de un campo para una clase de entidad, una capa de entidades o un ráster

²⁶ Crea una clase de entidad que contiene polígonos generados a partir de áreas encerradas por entidades de polígono o de línea de entrada

entidad “Isofona_55_dB_PolygonToLine_” obtenida en la etapa 3 obteniendo como resultado final una capa tipo polígono “Zonas_afectadas_ruidos”, que contiene información sobre el área de tipo residencial susceptible de estar afectada por la emisión de ruidos procedentes de la vía de comunicación.

Reseñar que en el caso de que una vez ejecutada la herramienta la clase de entidad de salida, esta resultase como una “salida vacía”, habrá de interpretarse como que no hay áreas de uso residencial afectadas por los ruidos provenientes de la vía de comunicación. Ver Figura 145.

Etapa 4 de la Herramienta “Comprobación previa”

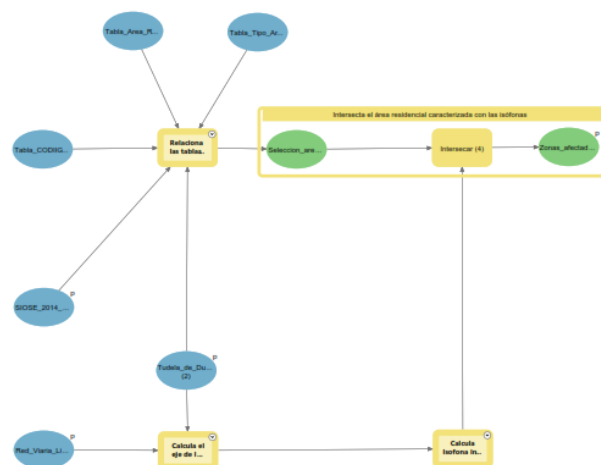


Figura 145. Etapa 4 de la Herramienta “Comprobación previa”. Fuente: Elaboración propia

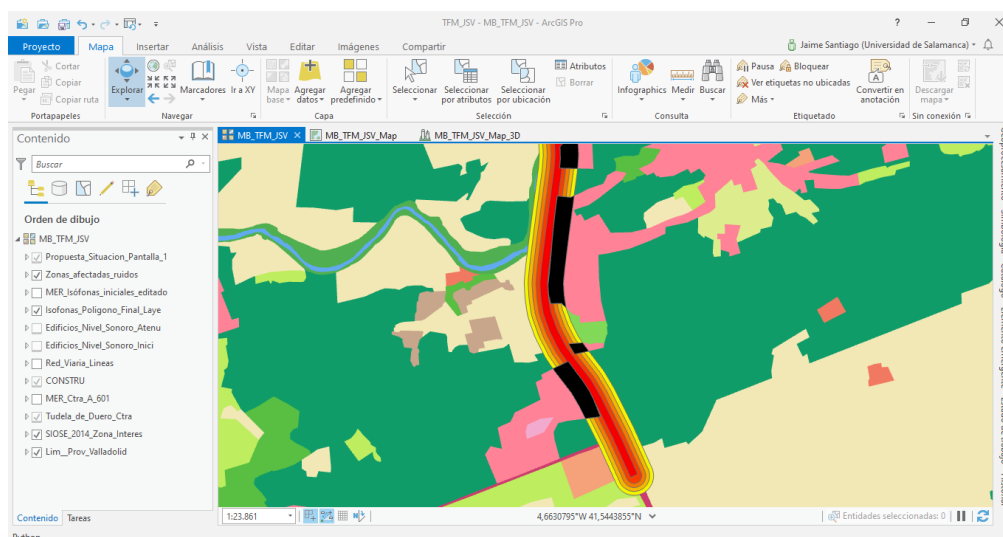


Figura 146. Herramienta Comprobación Previa. Resultados. Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 147. Herramienta “Comprobación previa” detallada, se pueden observar los distintos geoprocesos de los que consta con sus líneas de relación

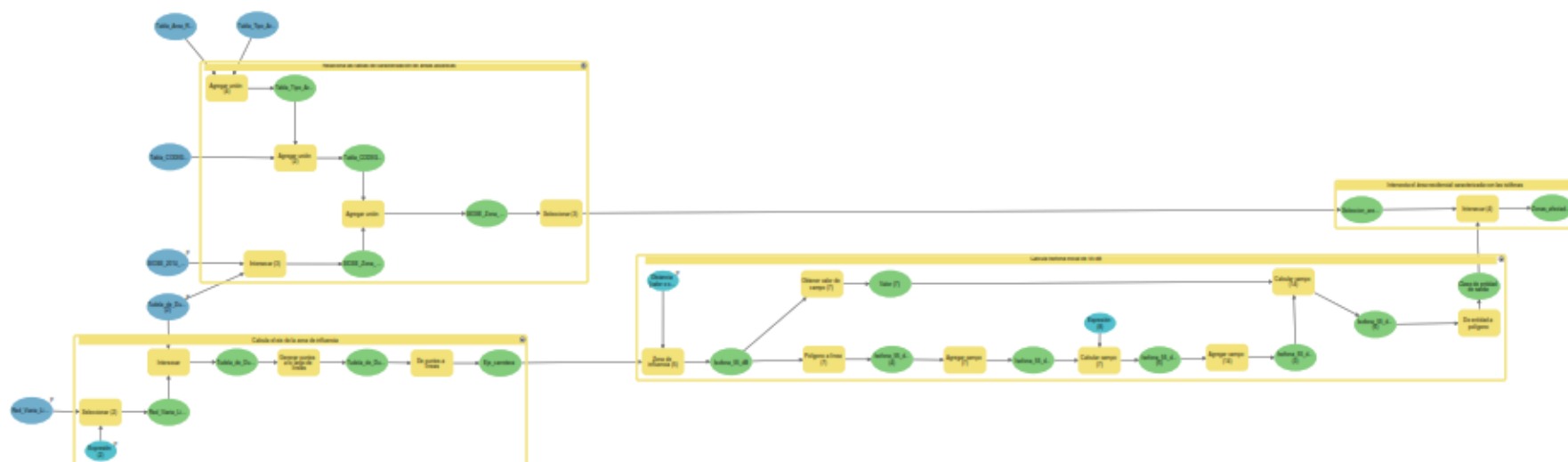


Figura 147. Herramienta "Comprobación previa" detallada. Fuente: Elaboración propia

Apéndice V. Herramienta. Cálculos 2D

La herramienta denominada “Cálculos 2D” se encuentra dividida en 5 etapas en las que se realiza desde el cálculo del eje de la vía de comunicación de la zona de interés, el cálculo de las líneas isófonas que representan el ruido generado por la vía de comunicación, el cálculo de la posible ubicación de una pantalla acústica, y la representación de las isófonas iniciales y finales calculadas. Además de lo anterior, contiene una etapa que realiza un adelanto sobre los geoprocetos necesarios para llevar a cabo la representación en 3D de los edificios afectados por los ruidos generados. Ver Figura 148. Herramienta Cálculos 2D



Figura 148. Herramienta Cálculos 2D. Fuente: Elaboración propia

Los datos de entrada se han parametrizado para que el usuario pueda introducirlos libremente de tal forma,

- Red_Viaria -> vía de comunicación
- CONSTRU -> información catastral relativa a subparcelas urbanas que representan los volúmenes edificados dentro de una parcela.
- SIOSE_2014-> coberturas del suelo
- Tudela_de_Duero_Ctra -> límite administrativo de la zona de interés
- Tabla_Tipo_Area_ruido_a_Limites -> relaciona los límites de inmisión de ruido permitidos en áreas residenciales con los tipos de área de ruido

- Tabla_Area_Ruido_a_Tipo_Area -> relaciona los tipos de área de ruido con los tipos de áreas acústicas
- Tabla_CODIIGE_a_Area_Ruido -> relaciona las coberturas de suelo del SIOSE con las áreas acústicas
- 4_Tabla_Nomenclatura_catastro -> asigna según la nomenclatura utilizada en la capa CONSTRU, un número de plantas y alturas a un edificio, dada por una altura por planta predefinida de 3,00 m.

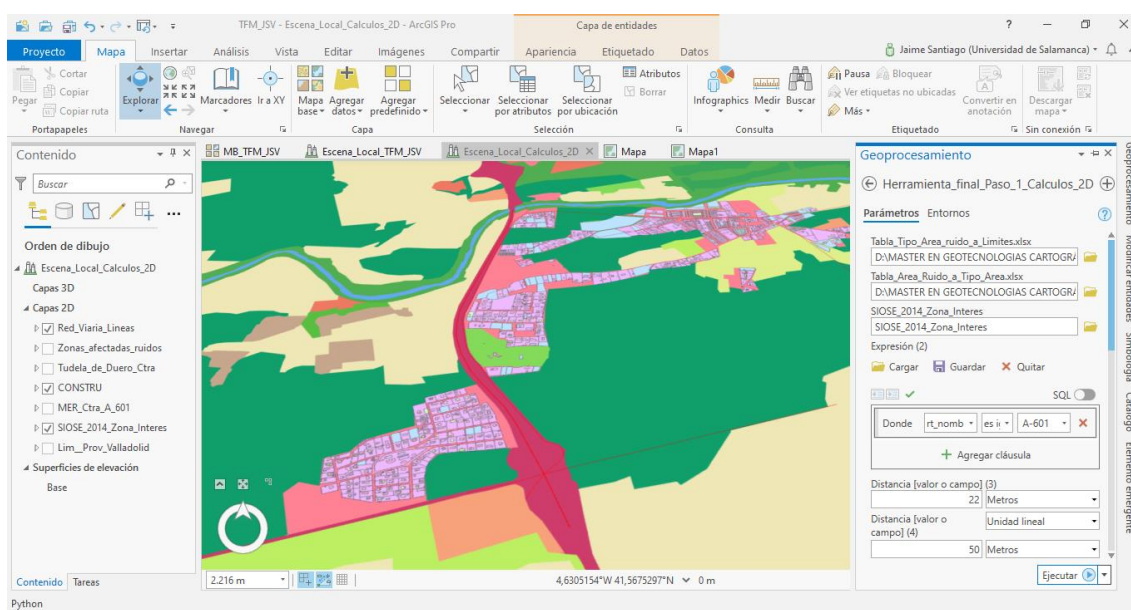


Figura 149. Herramienta Cálculos 2D. Antes de su ejecución

• Etapa 1: “Cálculo del eje de la zona de influencia”

La etapa 1 de esta herramienta está dedicada al cálculo del eje de la vía de comunicación en la zona de interés o de estudio y además coincide prácticamente en su totalidad con la descrita en la etapa 1 de la herramienta expuesta en el Apéndice I, Herramienta. Comprobación previa. Reseñar que esta duplicidad de secuencias de geoprocursos en ambas herramientas que conllevan a la obtención de una clase de entidad tipo línea denominada “Eje_Carretera” se debe a que la ejecución de ambas herramientas es de carácter totalmente independiente, es decir, se podrá ejecutar una sin necesidad de ejecutar la otra.

La diferencia entre ellas radica en la adición de un geoproceso denominado “De clase de entidad a Geodatabase”²⁷ cuya función es la de insertar la capa resultante “Eje_Carretera”, obtenida, en la geodatabase²⁸ para su posterior utilización en otras herramientas.

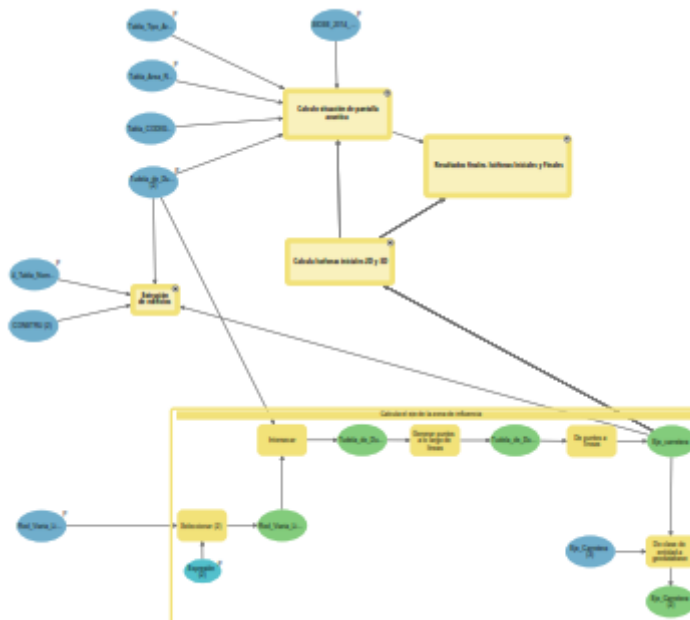


Figura 150. Etapa 1 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

• Etapa 2: “Cálculo de isófonas iniciales 2D y 3D”

Se realizan los cálculos tanto en 2D como en 3D de las líneas isófonas iniciales o a priori, adoptando una equidistancia entre las distintas isófonas a calcular de 5 dB, comenzando en los 75 dB hasta llegar a los 55 dB.

A partir de la clase de entidad de tipo línea obtenida en la etapa 1 denominada “Eje_Carretera” y junto con las distancias²⁹ de cada una de las curvas isófonas consideradas con respecto al eje, nos servirán como datos de entrada para los geoprocesos “Zona de influencia” por el que se obtendrán cada una de las entidades tipo polígono que representarán las capas que contienen la isófonas correspondientes. Para seguidamente aplicar el geoproceso “De polígono a línea”, convirtiéndose así en una clase de entidad de tipo línea a la que se le van a agregar mediante el geoproceso denominado “Agregar campo” dos nuevos atributos llamados “Nivel Sonoro” y “Distancia al eje” en los que se incluirán mediante el geoproceso “Calcular

²⁷ Convierte una o más clases de entidad o capas de entidades a clases de entidad de geodatabase

²⁸ es un conjunto de datasets geográficos de distintas clases que están almacenados en una carpeta común del sistema de archivos o en un sistema de administración de bases de datos relacionales (DBMS) multiusuario

²⁹ Dado que el mapa estratégico de ruido disponible sobre la vía de comunicación del área de interés no es utilizado para la realización del análisis se han adoptado unas distancias para las isófonas de 75, 70, 65, 60 y 55 dB, de 25, 50, 75, 100 y 125 m, respectivamente

campo” los valores del nivel sonoro y la distancia de esta con respecto al eje de la isófona considerada. Ver Figura 151. Cálculo de Isófona 2D. Extracto de Etapa 2. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia



Figura 151. Cálculo de Isófona 2D. Extracto de Etapa 2. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

Definidas todas las isófonas con los atributos mencionados de forma independiente, es el momento de sumar todas las clases de entidad tipo línea que corresponden a las isófonas y crear una clase de entidad o capa agrupe a todas. Para ello y utilizando el geoproceso “Fusionar”³⁰ se obtiene la capa llamada “Isófonas”, para después continuar con el geoproceso “De entidad a polígono” resultando así la capa “Isofonas_FeatureToPolygon” a la que se le añadirán todos los atributos que contiene la capa “Isófonas” mediante el geoproceso “Agregar unión”. De esta forma ya se dispone de una clase de entidad tipo polígono resultante “Isofonas_FeatureToPolygon_La” que contiene la representación de todas las isófonas iniciales junto con los atributos que las definen. Ver Figura 152. Fusión de isófonas 2D. Extracto de Etapa 2. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

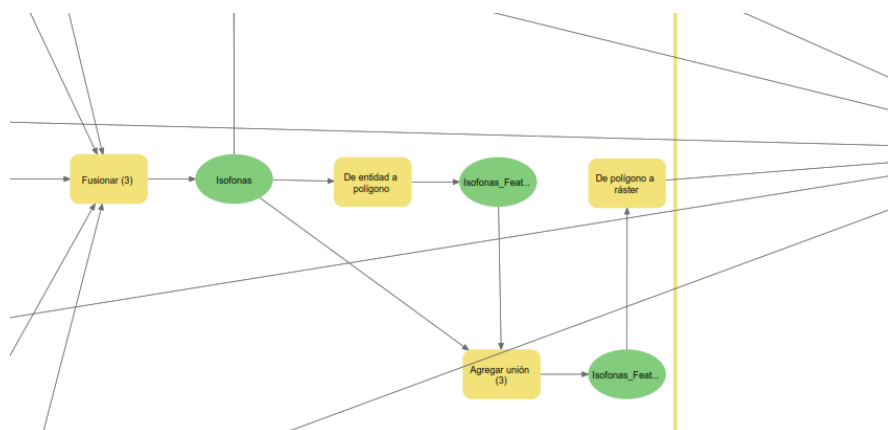


Figura 152. Fusión de isófonas 2D. Extracto de Etapa 2. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

³⁰ Combina varios datasets de entrada en un único dataset de salida nuevo. Esta herramienta puede combinar tablas o clases de entidad de punto, de línea o de polígono.

En la representación de las isófonas en 3D se utilizarán clases de entidad denominadas “Multiparache”³¹, en las que para poder construirlas se ejecuta el geoproceso denominado “Zona de influencia 3D”³², en el que se genera un cilindro de radio igual a la distancia al eje de la isófona considerada y cuyo eje coincidirá con el de la propia vía de comunicación, seguido del geoproceso “Incluir multiparache”³³. La utilidad del uso de entidades multiparache cerradas radica en la posterior realización de operaciones en 3D entre ellas, como se verá más adelante. Ver Figura 153. Cálculo de Isófona 3D. Extracto Etapa 2 Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

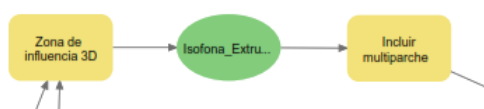


Figura 153. Cálculo de Isófona 3D. Extracto Etapa 2 Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

Para una mejor comprensión de todo el proceso indicado ver la Figura 154. Etapa 2 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia.

³¹ Las entidades multiparache son volúmenes cerrados definidos mediante anillos tridimensionales y parches triangulares. Se utilizan para modelar la superficie exterior o corteza de entidades 3D naturales o generadas. Algunos ejemplos son: árboles, edificios, puentes y espacios interiores. Puede crear entidades multiparache desde cero o importar modelos 3D en una clase de entidad multiparache.

³² Crea una zona de influencia tridimensional alrededor de los puntos o líneas para producir entidades multiparache esféricas o cilíndricas

³³ Crea entidades multiparache cerradas a partir de entidades multiparache abiertas.

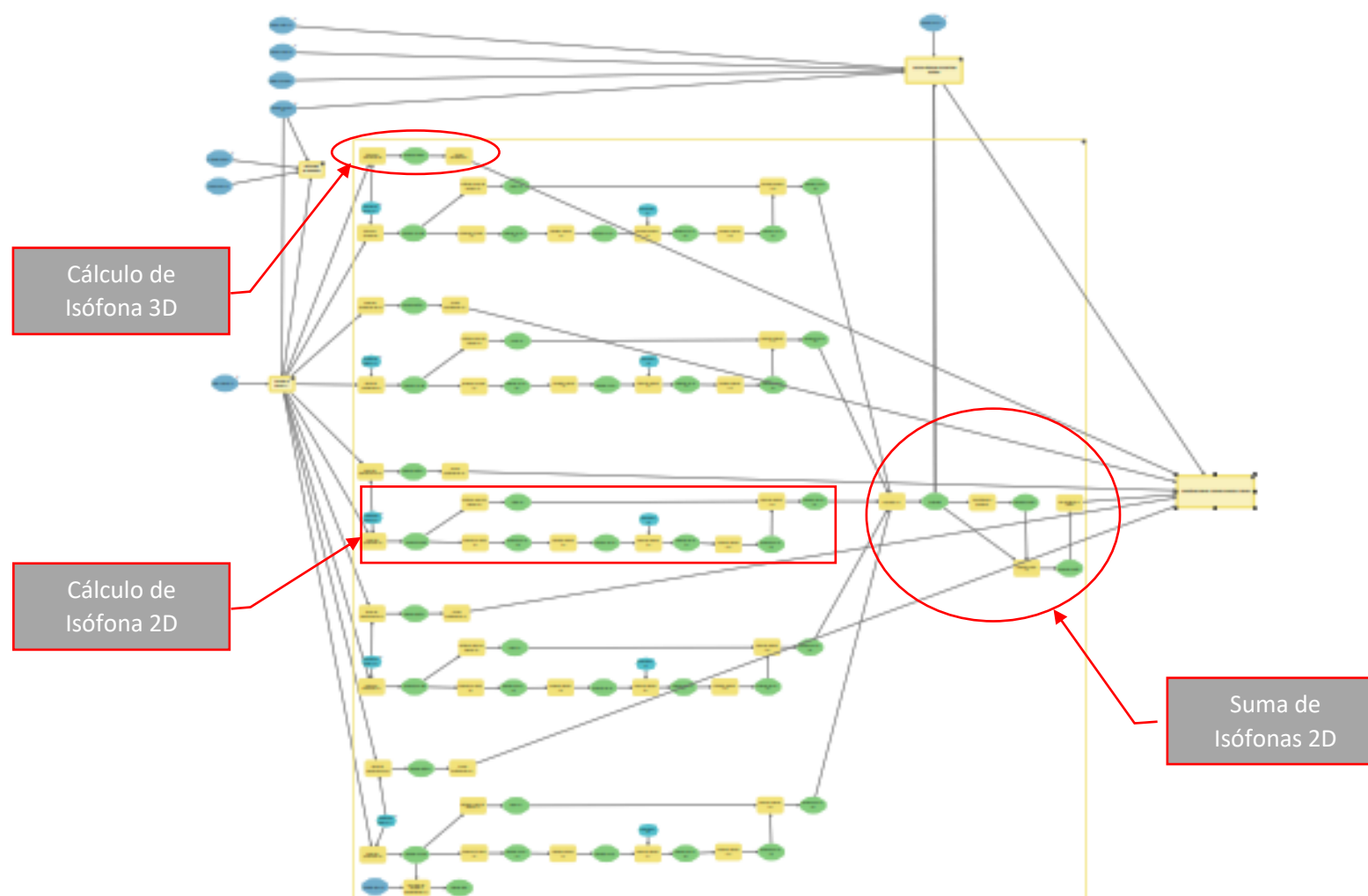


Figura 154. Etapa 2 de la Herramienta "Cálculos 2D". Fuente: Elaboración propia

- Etapa 3: “Cálculo situación de pantalla acústica”

En el cálculo de la posible situación de la pantalla acústica se pueden observar dos fases bien diferenciadas. En la primera, se realiza una caracterización de las distintas coberturas del suelo a partir de las tablas que contienen la información acerca de los límites de inmisión de ruido, tipos de área acústicas, tipos de área, usos del suelo para la zona de interés, mientras que en la segunda fase y junto con el resultado obtenido en la primera se procede al cálculo de la posible ubicación y definición propiamente dicha de la pantalla acústica. Ver Figura 158. Etapa 3 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia.

La Fase I, coincide con la expuesta en la Etapa 2 de la Herramienta “Comprobación previa”. Ver Figura 155. Fase I de la Etapa 3. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

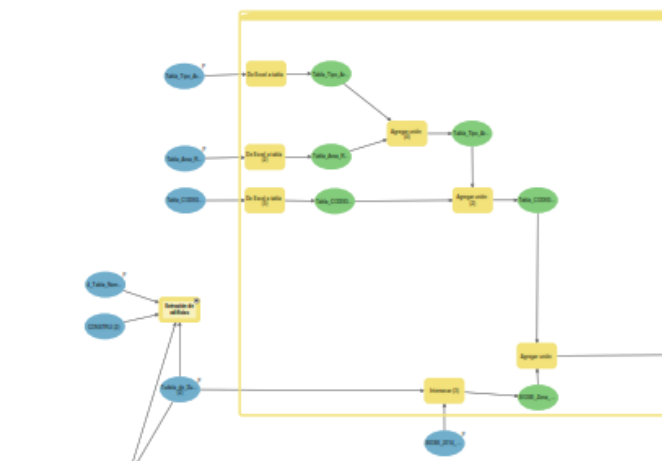


Figura 155. Fase I de la Etapa 3. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la pantalla acústica, en esta segunda fase se parte de la clase de entidad resultante de la anterior, denominada “SIOSE_Zona_Interes_layer” que contiene toda la información acerca de las coberturas de suelo del área de interés a la que se le ha añadido la información acerca de la caracterización de cada una de ellas sobre los usos del suelo, es decir, dentro de la capa se ha definido una relación entre el código CODIIGE que define las coberturas del suelo y los distintos usos del suelo de la zona de interés. Por tanto, mediante sendos geoprosesos “Seleccionar” se extrae la información correspondiente que define el uso del suelo “tipo de área acústica a” y “tipo de área acústica f”³⁴, que correspondería “uso residencial”

³⁴ Los distintos tipos de usos del suelo están definidos en la Tabla 2. Correlación entre Usos del Suelo y Áreas Acústicas. Art. 5 RD 1367/2007

denominada “Seleccion_area_acustica_Residencial” y “Uso Sist. Generales Transporte” definida como “SIOSE_Zona_Interes_Layer_Sel”, respectivamente.

La capa o clase de entidad obtenida “Seleccion_area_acustica_Residencial” se guardará en la geodatabase en el dataset de entidades “Capas aux” mediante el geoproceto “Agregar a geodatabase” para utilizarla posteriormente en otras herramientas además de proceder a la ejecución del geoproceto “Zona de influencia” para una distancia de 0,50 m en la que se ampliará el área de las zonas definidas para este uso, produciendo así un pequeño solape con las áreas caracterizadas como uso Sist. Generales de Transporte.

Ejecutando el geoproceto “Intersecar” entre ambas capas, se extraerá el solape generado y que contendría la posible ubicación de la pantalla acústica.

Con el geoproceto “Agregar campo” se generarán dos nuevos atributos en la entidad obtenida denominados “CONSTRU” que contendrá el nombre del elemento, para este caso “PANTALLA” y el atributo “Altura” en el que se insertará por el usuario la altura de la pantalla acústica³⁵. Con el geoproceto “calcular campo” se añaden los valores mencionados a los campos generados. Esta capa obtenida denominada “Propuesta_Situacion_Pantalla” la guardaremos en la geodatabase mediante el geoproceto “Agregar a geodatabase” en el dataset de entidades “Pantalla 3D” ya que será utilizado en otras herramientas. Ver Figura 156. Fase II de la Etapa 3. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia. Así mismo y mediante la ejecución del geoproceto “Fusionar” se suman las áreas que definen las áreas de uso residencial con el área que ocuparía una pantalla acústica y que se denominará “Propuesta_situacion_pantalla1”

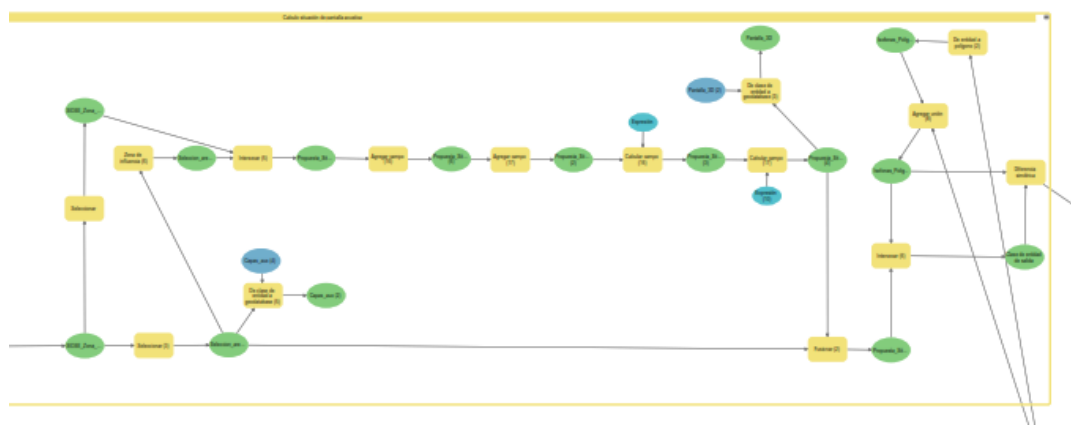


Figura 156. Fase II de la Etapa 3. Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

³⁵ La altura máxima de una pantalla acústica suele estar comprendida entre 5 y 6 m, aunque en el presente TFM se ha definido una altura de pantalla de 20 m para que se obtenga una visualización clara de la misma

En esta última parte de la etapa 3 se calculan las isófonas finales resultantes de la influencia producida por la ubicación de una pantalla acústica.

A partir de la clase de entidad de tipo línea obtenida en la etapa 2 denominada “Isófonas”, se procederá a su transformación a tipo polígono mediante el geoproceso “De entidad a polígono” para después añadir los atributos que definirán cada una de las isófonas mediante el geoproceso “agregar unión”, de esta forma tendremos las isófonas iniciales, a las que mediante el geoproceso “Intersecar” junto con la capa obtenida anteriormente denominada “Propuesta_situacion_pantalla1” resultará, el área de uso residencial que deberá proteger la pantalla acústica.

Si esta área de protección es restada a la clase de entidad que contiene la información sobre las isófonas iniciales mediante el geoproceso denominado “Diferencia simétrica”³⁶ se obtienen las isófonas finales o resultantes de la ubicación de una pantalla acústica denominada “Isofonas_Poligono_Final “. Ver Figura 157. Extracto para calcular Isófonas Finales correspondiente a la Etapa 3 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia.



Figura 157. Extracto para calcular Isófonas Finales correspondiente a la Etapa 3 de la Herramienta “Cálculos 2D”.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 158. Etapa 3 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia. Se puede comprobar todo el proceso descrito.

³⁶ Las entidades o partes de entidades en las entidades de entrada y de actualización que no se superpongan se escribirán en la clase de entidad de salida

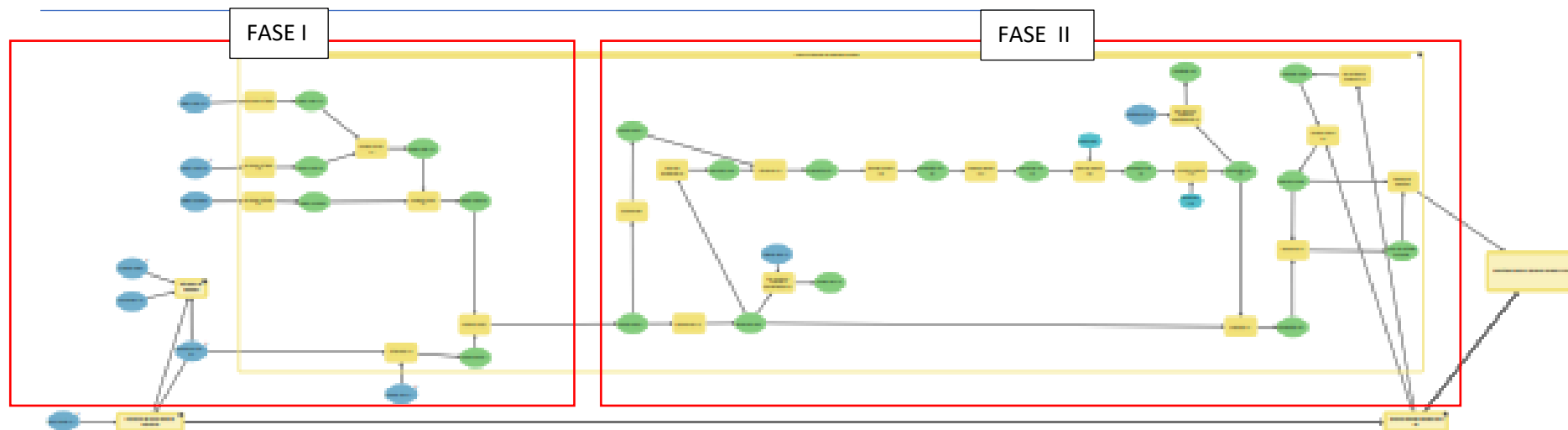


Figura 158. Etapa 3 de la Herramienta "Cálculos 2D". Fuente: Elaboración propia

- Etapa 4: “Extrusión de edificios”

La función de la etapa 4, consiste en la asignación de altura de los distintos edificios existentes en un área de influencia de 150 m a partir del eje de la carretera, mediante la relación de la tabla “4_Tabla_Nomenclatura_catastro” con la capa que define las edificaciones existentes denominada “CONSTRU”. Esta etapa sirve como adelanto para otras herramientas cuya función será la de generar las entidades multiparache de los edificios.

Mediante el geoproceso “Zona de influencia” para una distancia de 150 m aplicado a la capa “Eje_carretera”, se obtiene una clase de entidad tipo polígono que junto con la capa que contiene la información catastral de los edificios existentes en el TTMM de la zona de estudio denominada “CONSTRU”, serían los dataset de entrada del geoproceso “Intersecar”, y en la que resultaría una capa denominada “Constru_intersect” en la que se han discriminado o eliminado los edificios que estuvieran fuera del área de influencia definida.

La tabla denominada “4_Tabla_Nomenclatura_catastro” contiene información que relaciona el atributo “CONSTRU”³⁷ de la propia capa que contiene información catastral, con el número de plantas y altura de estas. Mediante el geoproceso “agregar unión” se establecerán las relaciones entre la tabla y la clase de entidad “constru_intersect_intersect”. Ver Figura 159. Etapa 4. Asignación de altura a edificios existentes en la zona de interés

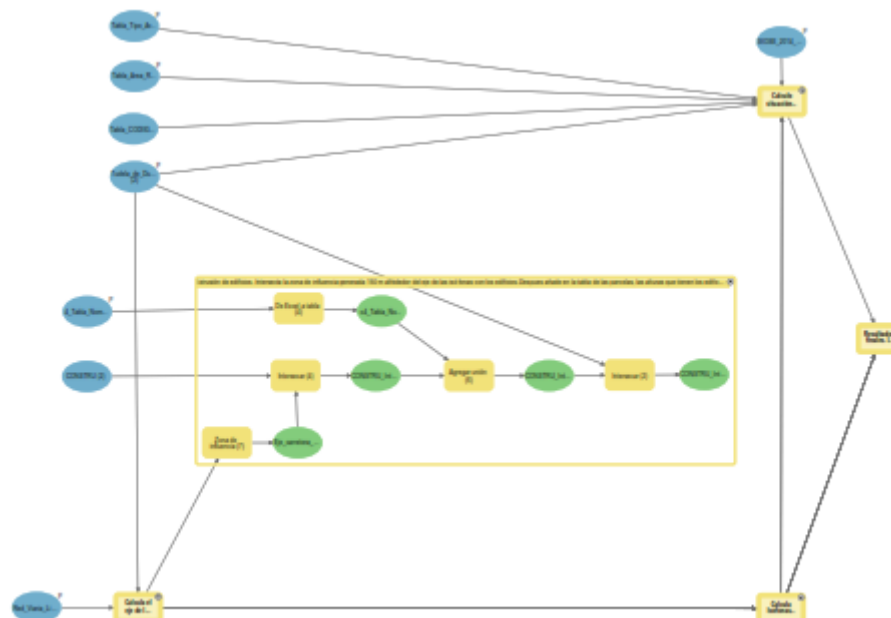


Figura 159. Etapa 4. Asignación de altura a edificios existentes en la zona de interés. Fuente: Elaboración propia

³⁷ Subparcelas urbanas que representan los volúmenes edificados dentro de una parcela.

- Etapa 5: “Resultados finales. Isófonas Iniciales y Finales”

En esta etapa se aplican las simbologías correspondientes a las clases de entidad que contienen la información acerca de las isófonas iniciales y finales mediante la ejecución del geoproceso “Aplicar simbología de capa”³⁸.

Las capas o clase de entidad que contienen la información de las isófonas se denominan “Isofonas_Estado_Inicial” e “Isofonas_Poligono_Final_Laye”.

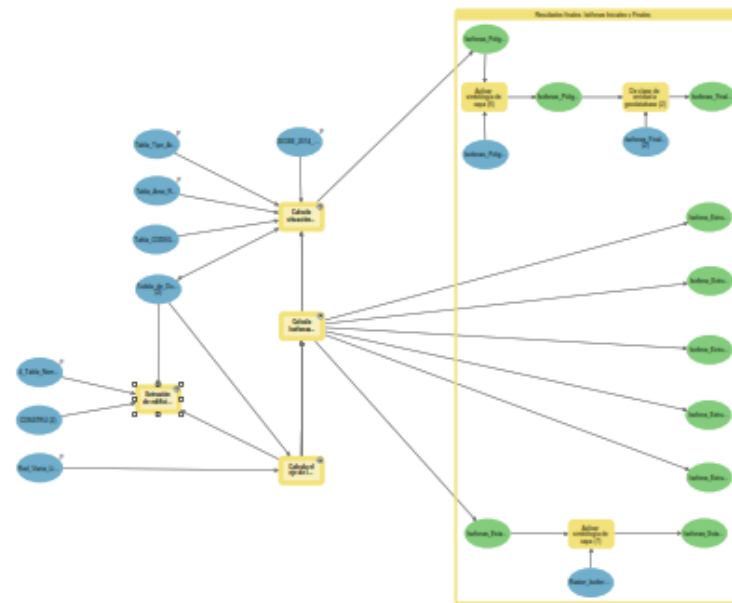


Figura 160. Etapa 5 de la Herramienta “Cálculos 2D”. Fuente: Elaboración propia

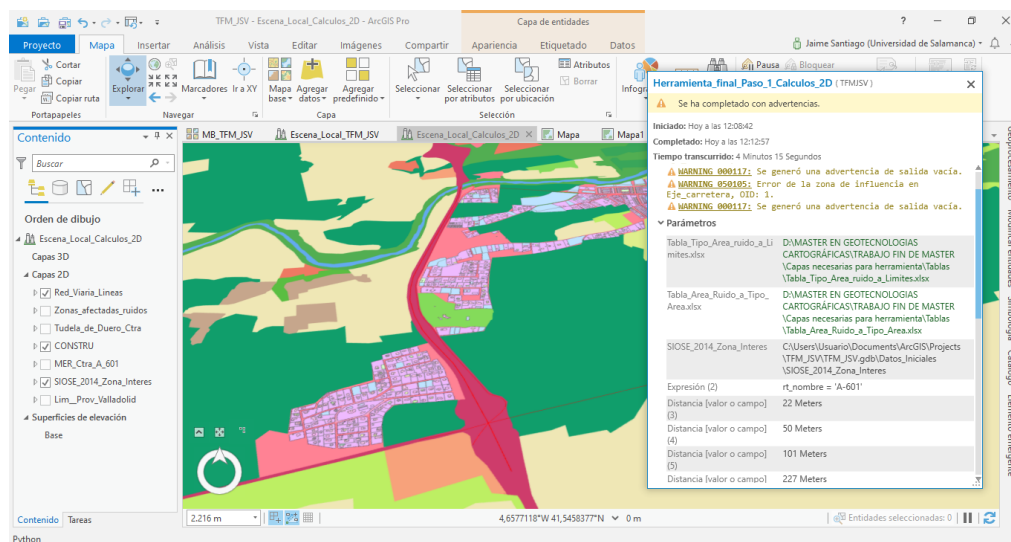


Figura 161. Herramienta Cálculos 2D. Resultados

³⁸ Aplica la simbología de una capa o archivo de capa a la entrada. Se puede aplicar a las capas de entidades, ráster, análisis de red, TIN y de estadísticas geográficas.

Apéndice VI. Herramienta. Nivel sonoro edificios inicio

Por medio de esta herramienta se asigna a cada uno de los elementos que tienen una altura definida de la capa “constru_intersect_intersect” el nivel sonoro o de ruido soportado en dB.

Dado que el proceso de ejecución de las herramientas diseñadas es secuencial y los datos de entrada son producto del resultado de la Herramienta. Cálculos 2D, no se ha contemplado la parametrización de los datos de entrada de la misma, sin embargo, el usuario tiene la posibilidad de establecer la ruta de guardado de la capa de salida.

Como primer paso en la ejecución de la presente herramienta, se depuran los registros existentes en la capa “constru_intersect_intersect” obtenida en Etapa 4: “Extrusión de edificios” que carezcan de una altura definida, utilizando el geoproceso “Seleccionar” y extrayendo aquellos registros cuyo atributo “CONSTRU” no contenga la letra “P”, sea distinto a “SUELO”, sea distinto a “CO” y sea distinto a “PI”, obteniendo la clase de entidad denominada “constru_intersect_intersect_3”

Mediante el geoproceso “Unión espacial”³⁹ se relaciona la capa anterior con la capa “Isófonas_estado_inicial” obtenida en la Etapa 5: “Resultados finales. Isófonas Iniciales y Finales”, en la que mediante la opción de correspondencia⁴⁰ seleccionada “cruzado por el contorno de”⁴¹ se unen los atributos a aquellos registros que definen los edificios que sean cruzados por alguna isófona.

En este sentido, surge el inconveniente en aquellos registros que definen los edificios y que no sean cruzados por una isófona, pero si soportan un nivel de ruido definido por el área de la isófona que lo contiene. Para solucionar esto, se aplica nuevamente el geoproceso “Unión espacial” a las mismas capas, pero con la opción de correspondencia “dentro de clementini”⁴².

Sin embargo, en ambas capas obtenidas, existen determinados registros que no cumplen la opción de correspondencia definida, y por lo tanto no se les ha añadido el valor de

³⁹ Una unión espacial implica la concordancia de las filas de las Entidades de unión con las Entidades de destino según sus ubicaciones espaciales relativas. Por defecto, todos los atributos de las entidades de unión se incorporan a los atributos de las entidades de destino y se copian a la clase de entidad de salida. Puede definir cuáles de los atributos se escribirán en la salida al manipularlos en el parámetro Campo del mapa de las entidades de unión.

⁴⁰ Define los criterios que se utilizan para hacer que concuerden las filas.

⁴¹ Las entidades en las entidades de unión se harán coincidir si una entidad de destino está cruzada por su contorno. Las entidades de unión y de destino deben ser líneas o polígonos. Si se utilizan polígonos para las entidades objetivo o de unión, se utilizarán los límites (las líneas) del polígono. Se harán coincidir las líneas que se cruzan en un punto, no las que comparten un segmento de línea.

⁴² Las entidades en las entidades de unión se harán coincidir si una entidad de destino está dentro de ellas.

la isófona que cruza o los contiene, por lo que es necesario la aplicación en ambas capas del geoproceso “Seleccionar” para extraer aquellos registros cuyo valor del atributo “gridcode” sea distinto del valor nulo. Por lo tanto, ahora, se tienen dos capas o clases de entidad en las que se les ha añadido a los registros que definen los edificios, los atributos de las isófonas que, o bien, los atraviesan o los contienen dentro, y que serán unidas mediante el geoproceso “Fusionar” en la capa o clase de entidad denominada “Edificios_Nivel_Sonoro_Inicial”

Con la aplicación del geoproceso “Modificar campo”⁴³ se renombra el campo o atributo denominado “gridcode” y que contiene el valor del nivel sonoro soportado, pasando a ser nombrado como “Nivel_sonoro_soportado_(dB)”.

Dada la gran cantidad de atributos de los que consta la capa “Edificios_Nivel_Sonoro_Inicial” se realiza una limpieza o eliminación de aquellos campos que no son necesarios mediante el geoproceso “Eliminar campo”⁴⁴.

Por último, a la capa resultante, se le aplicará la simbología correspondiente mediante el geoproceso “Aplicar simbología” en el que se ha predefinido las características de los símbolos en un archivo formato .lyrx

⁴³ Renombra campos y alias de campos o modifica las propiedades del campo

⁴⁴ Elimina uno o varios campos de una tabla, una clase de entidad, una capa de entidad o un dataset ráster



Figura 162. Herramienta “Nivel sonoro edificios inicio”. Fuente: Elaboración propia

Apéndice VII. Herramienta. Nivel sonoro edificios final

Mediante esta herramienta se pretende generar una capa o clase de entidad, que contenga la información de los edificios afectados por ruido en la zona de interés bajo el “paraguas” de protección de una pantalla acústica, mediante la introducción de la información que defina el nivel de protección de la propia la pantalla acústica y el nivel de ruido resultante en el edificio.

A partir de la clase de entidad generada en la Herramienta. Nivel sonoro edificios inicio, mediante el geoproceso “Agregar campo”, se incorporan sendos atributos denominados “Atenuación_pantalla” y “Nivel_sonoro_atenuado”, los cuales recogerán, en el primer caso el valor en dBA de la corrección en el nivel de ruido producido por la pantalla acústica y en el segundo caso el valor en dBA del nivel de ruido que soportará un edificio protegido por la presencia de la pantalla acústica.

Con la aplicación del geoproceso “Calcular campo” el usuario introducirá como parámetro en el atributo “Atenuación_pantalla” el valor de corrección aplicable a la pantalla sobre el nivel de ruido soportado por el edificio en dBA, mientras que en el campo “Nivel_sonoro_atenuado” se introduce el resultado de la resta del “Nivel_sonoro_inicial” y la “Atenuacion_pantalla” resultando una capa de salida que concentra toda la información indicada denominada “Edificios_Nivel_Sonoro_Atenu”

La ejecución de la herramienta finaliza la obtención con la asignación de la simbología mediante el geoproceso “Aplicar simbología” en la que se ha predefinido está en un fichero .lyrx. Ver la Figura 163. Herramienta “Nivel sonoro edificios final”. Fuente: Elaboración propia

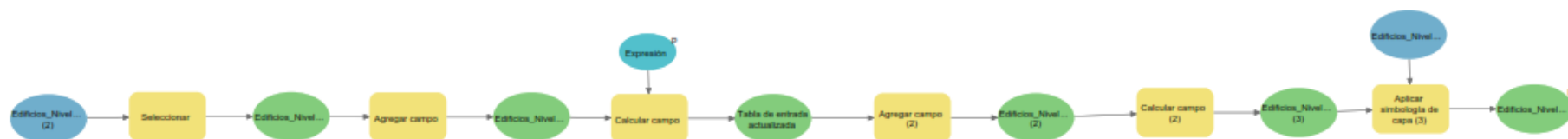


Figura 163. Herramienta “Nivel sonoro edificios final”. Fuente: Elaboración propia

Apéndice VIII. Herramienta. Pantalla Acústica 3D

Se trata de una herramienta que genera los sólidos 3D de la(s) pantalla(s) calculadas en la Etapa 3: “Cálculo situación de pantalla acústica” de la Herramienta. Cálculos 2D, a partir de la clase de entidad “Propuesta_Situacion_Pantalla_1”, que formarán parte de la escena 3D de todo el proceso de cálculo diseñado.

En el geoproceso denominado “Entidades de reglas de City Engine”⁴⁵ se introducirá la capa que contiene la información sobre la pantalla acústica calculada que junto con el archivo de paquetes de reglas⁴⁶ “Extrusiones.rpk”, previamente definido mediante la aplicación City Engine⁴⁷, resultará una capa con entidades multiparache o sólidos 3D. Ver Figura 164. Herramienta “Creación Pantalla Acústica 3D”



Figura 164. Herramienta “Creación Pantalla Acústica 3D”. Fuente: Elaboración propia

Se inserta el código fuente del archivo creado denominado “EdifCatastroLOD.cga”, el cual, ha sido exportado en formato .rpk para conformar el paquete de reglas que definirán la extrusión de la capa “Propuesta_Situacion_Pantalla_1”.

⁴⁵ Genera geometrías en 3D a partir de entidades de entrada 2D y 3D existentes mediante reglas creadas en Esri CityEngine.

⁴⁶ Archivo (*.rpk) del paquete de reglas de CityEngine que contiene los activos y la información de las reglas CGA. La regla anotada con @StartRule en el archivo (.rpk) del paquete de reglas de CityEngine debe estar anotada con @InPoint para un paquete de reglas destinado a entidades de puntos, con @InPolygon para un paquete de reglas destinado a entidades poligonales o con @InMesh para un paquete de reglas destinado a entidades multiparache. Si @StartRule no está anotado con @InPoint, @InPolygon o @InMesh, se asumirá que el tipo de entidades polígono.

⁴⁷ CityEngine es un software de modelado 3D avanzado para crear entornos urbanos enormes de ESRI.



/**

* File: EdifCatastroLOD.cga
* Created: 22 May 2020 11:09:14 GMT
* Author: master
*/

version "2019.0"

// definir las variables o atributos que se utilizarán

// Tipo de construcción

@Group("CONSTRU")

@Range("I", "II", "III", "-I", "P", "POR", "PI",
"DEP", "TZA", "SOP", "SS", "SUELO", "JD",
"ZD", "ZPAV", "TEN", "PJE", "RUINA", "PANTALLA", "AREA")

attr CONSTRU = "I"

// Altura de los elementos de construcción

@Group("Alturas")

@Range(0, 12)

attr Alturas = 1

// colores de simbología de las construcciones

attr ColorAzul = "#00AAFF"

attr ColorRojo = "#FF0000"

attr ColorNegro = "#000000"

attr ColorBeige = "#F5F5DC"

attr ColorSiena = "#B47D00"

attr ColorGris = "#AAAAAA"

attr ColorGrisClaro = "#c9c9c9"

attr ColorBlancoAlmendra = "#FFEBCD"

attr myFrontDepth = 0.5

attr myRightWidth = 0.5

attr myBackDepth = 0.5

attr myLeftWidth = 0.5

@StartRule

Lot -->

// Definir cómo se representan las distintas construcciones

case CONSTRU == "PANTALLA" :

extrude (Alturas)

color(ColorGris)

case CONSTRU == "AREA" :

extrude (Alturas)

color(ColorAzul)

else : Otro_LOD1

Otro_LOD1 --> extrude (0)

color(ColorNegro)

Apéndice IX. Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Inicial

Al igual que con la Herramienta. Pantalla Acústica 3D, se continúa con la creación de la escena 3D del trabajo, mediante la incorporación de los sólidos 3D que componen los edificios afectados por la emisión de ruidos a partir de la capa calculada en la Herramienta. Nivel sonoro edificios inicio.

En este caso, también se recurre al geoproceso “Entidades de reglas de City Engine” en el que se introducen los datos de la capa “Edificios_Nivel_Sonoro_Inicial”, así como el fichero de paquetes de reglas denominado “3DCity.rpk”, para obtener los sólidos 3D de los edificios en una capa denominada “Edific_Niv_Sonoro_Inic_3D”, en los que se incluirá más adelante el nivel de ruido inicial. Ver Figura 165. Herramienta Creación edificios 3D. Nivel ruido inicial.



Figura 165. Herramienta Creación edificios 3D. Nivel ruido inicial

Se genera un archivo denominado “EdifCatastroLOD.cga” con el código fuente utilizado para la definición del paquete de reglas que controla la extrusión de la capa o clase de entidad que contiene la información de los edificios “Edificios_Nivel_Sonoro_Inicial”, el cual, ha sido exportado en formato .rpk para conformar el paquete de reglas que se utilizará en el geoproceso.



/**

* File: EdifCatastroLOD.cga
* Created: 22 May 2020 11:09:14 GMT
* Author: master
*/

version "2019.0"

// definir las variables o atributos que se utilizarán

// Tipo de construcción

@Group("CONSTRU")

@Range("I", "II", "III", "-I", "P", "POR", "PI",
"DEP", "TZA", "SOP", "SS", "SUELO", "JD",
"ZD", "ZPAV", "TEN", "PJE", "RUINA")

attr CONSTRU = "I"

// Altura de los elementos de construcción

@Group("Altura")

@Range(0, 12)

attr Altura = 1

// colores de simbología de las construcciones

attr ColorAzul = "#00AAFF"

attr ColorRojo = "#FF0000"

attr ColorNegro = "#000000"

attr ColorBeige = "#F5F5DC"

attr ColorSiena = "#B47D00"

attr ColorGris = "#AAAAAA"

attr ColorGrisClaro = "#c9c9c9"

attr ColorBlancoAlmendra = "#FFEBCD"

attr myFrontDepth = 0.5

attr myRightWidth = 0.5

attr myBackDepth = 0.5

attr myLeftWidth = 0.5

@StartRule

Lot -->

// Definir cómo se representan las distintas construcciones

case CONSTRU == "I" || CONSTRU == "II" || CONSTRU == "III" || CONSTRU == "-I+I"
|| CONSTRU == "-I+II" || CONSTRU == "I+I" || CONSTRU == "II+I" || CONSTRU ==
"POR"
|| CONSTRU == "POR+I" || CONSTRU == "SS" || CONSTRU == "SS+I" || CONSTRU ==
"RUINA"
|| CONSTRU == "DEP" :

extrude (Altura)

color(ColorRojo)

```
case CONSTRU == "-I" :
    color(ColorBlancoAlmendra)

case CONSTRU == "P" :
    extrude (Altura)
    color(ColorBeige)

case CONSTRU == "PI" :

    color(ColorAzul)
    PiscinaAgua_LOD0

case CONSTRU == "SUELO" :
    extrude (Altura)
    color(ColorSiena)

case CONSTRU == "TZA" :
    terrazaLOD

else : Otro_LOD1

Otro_LOD1 --> extrude (0)
color(ColorNegro)

// para representar el tipo de construcción: "Terraza"
terrazzaLOD -->
    offset (-0.3) composicion
    composicion--> comp(f) { inside : Suelo | border : Barandilla }
    Suelo-->
        extrude (0.5)
        color(ColorSiena)
    Barandilla-->
        extrude (Altura)
        color(ColorGris)

// para representar el tipo de construcción: "Piscina"
PiscinaAgua_LOD0 -->
    offset(0, inside)
    shapeO(myFrontDepth,myRightWidth,myBackDepth,myLeftWidth) { shape : Huella |
remainder: Agua }
    Agua -->
        extrude (0.3)
        color (ColorAzul)
    Huella-->
        extrude (Altura + 0.25)
        color (ColorGrisClaro)
```


Apéndice X. Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Atenuado

La función de esta herramienta es la misma que la definida en el apéndice Apéndice IX. Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Inicial, con la salvedad de que, en este caso concreto, se introduce como dato o capa de entrada, la obtenida como resultado en el apéndice Apéndice VII. Herramienta. Nivel sonoro edificios final denominada “Edificios_Nivel_Sonoro_Atenu”.

Para esta herramienta el fichero que contiene los paquetes de reglas a utilizar por el geoproceso “Entidades de reglas de City Engine” vuelve a ser “3DCity.rpk”, utilizada anteriormente, finalizando el mismo con la generación de una clase de entidad denominada “Edific_Niv_Son_Atenu_3D” que contendrá la información sobre los sólidos 3D que representan los edificios existentes en la zona de interés a la que se añadirá más adelante la información acerca del nivel de ruido atenuado. Ver Figura 166. Herramienta Creación edificios 3D. Nivel ruido atenuado



Figura 166. Herramienta Creación edificios 3D. Nivel ruido atenuado

Apéndice XI. Herramienta. Envolverte Edificios 3D

En el caso de estudio, el ruido está generado por una fuente lineal, por lo que su propagación se realiza en forma de ondas cilíndricas, cuyo eje coincide con el de la propia vía de comunicación.

Además, cuanto se interpone un obstáculo entre la fuente emisora (vehículos que circulan por la carretera) y el receptor (edificaciones) como sería el caso de una pantalla acústica, la propagación del sonido sufre alteraciones debidas a los fenómenos acústicos de absorción, difracción o reflexión, por tanto, los edificios existentes en la zona de estudio, estarán bajo la influencia de la protección acústica que produciría la instalación de la pantalla acústica. Ver Figura 167. Protección acústica de una pantalla. Fuente: Jornada de ruido ambiental. Demarcación de Carreteras de la Comunidad Valenciana. Febrero 2.017

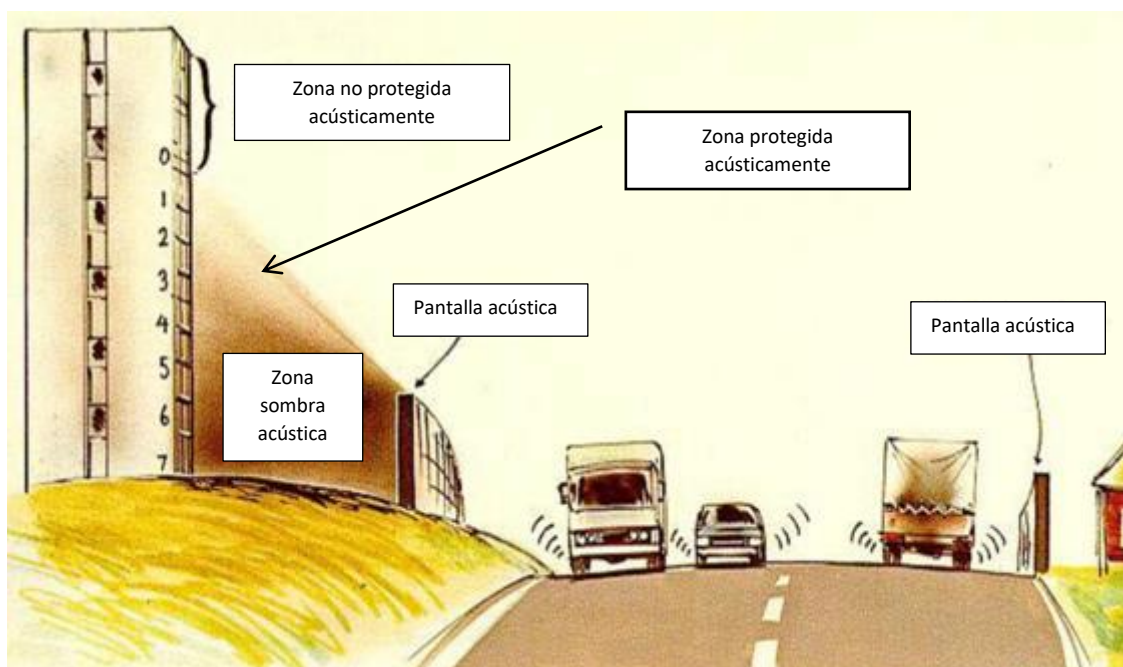


Figura 167. Protección acústica de una pantalla. Fuente: Jornada de ruido ambiental. Demarcación de Carreteras de la Comunidad Valenciana. Febrero 2.017

Por tanto, con el diseño de la herramienta “Envolverte Edificios 3D” se pretende realizar el cálculo del volumen de la zona protegida acústicamente por la pantalla acústica sobre las áreas de uso residencial afectadas.

Para la ejecución de la herramienta, es necesario aportar como datos de entrada,

- Capa o clase de entidad que contiene las áreas de uso residencial afectadas por los ruidos

- Capa o clase de entidad que representa la isófona de 55 dB, dado que es la primera isófona dentro de la equidistancia utilizada por debajo del umbral establecido por la normativa.
- Capa o clase de entidad que define el eje de la vía de comunicación
- Capa o clase de entidad resultante del cálculo de la posible ubicación de la pantalla acústica.
- Fichero de reglas de extrusión de entidades para su utilización con City Engine

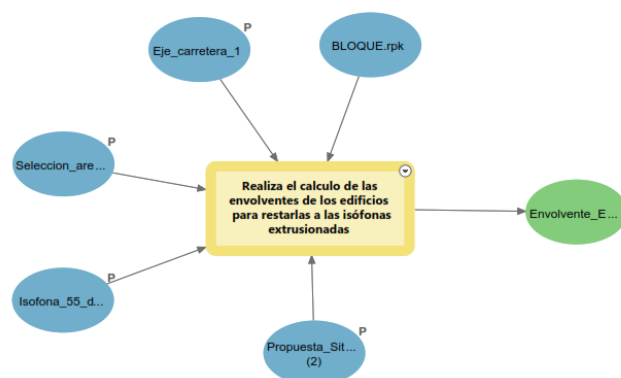


Figura 168. Herramienta Envolvente Edificios 3D. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 169. Cálculos para la obtención del volumen de protección de la pantalla. Fuente: Elaboración propia, el área de protección o zona de sombra ofrecida por la pantalla acústica de altura h situada a una distancia d , medida desde el eje de la vía sobre el edificio de altura H situado a una distancia D , viene definida por la forma QMNP a la que se la ha llamado “Envolvente de edificios”, por tanto, para calcular las isófonas finales solamente tendremos que restarle el área de sombra definida por los vértices QMNP a las isófonas iniciales.

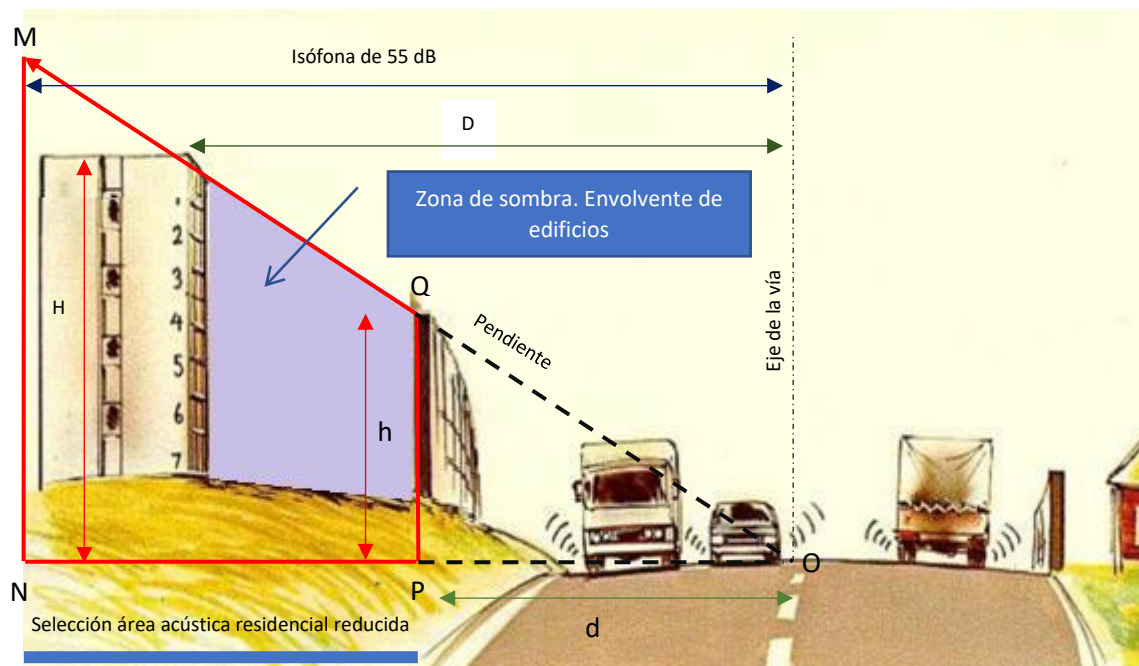


Figura 169. Cálculos para la obtención del volumen de protección de la pantalla. Fuente: Elaboración propia

A partir de las capas “Seleccion_area_acustica_Residencial_1” y “Isofona_55_dB” calculadas en la Etapa 2 y 3 de la Herramienta. Cálculos 2D, respectivamente, y mediante el geoproceso “Intersecar” se obtiene una entidad “Seleccion_area_acustica_Residencial_reducida”, que contiene exclusivamente las áreas de uso residencial afectadas por los ruidos producidos por la vía de comunicación. A la entidad obtenida junto a la capa “Eje_carretera”, se aplica el geoproceso “Tabla de cercanía”⁴⁸ que realiza el cálculo de la distancia más cercana entre el eje de la vía y las distintas áreas de uso residencial. Posteriormente, mediante el geoproceso “Agregar unión”, se relacionará la tabla obtenida que contiene las distancias calculadas, con la entidad “Seleccion_area_acustica_Residencial_reducida” quedando unidos los atributos de ambas capas.

Para poder definir la zona de sombra, se añaden mediante el geoproceso “agregar campo”, el atributo “altura” donde se insertará la altura con la que se ha definido la pantalla acústica y que es obtenida de la capa o clase de entidad “Propuesta_Situacion_Pantalla_1” mediante el geoproceso “Obtener valor de campo”⁴⁹, el atributo “pendiente” que estará definido por la relación entre la altura h de la pantalla acústica y la distancia OP , calculada en el geoproceso “Tabla de cercanía”, el atributo “ángulo de cubierta” que es calculado como el

⁴⁸ Calcula las distancias y demás información de proximidad entre entidades en una o varias capas o clases de entidad. A diferencia de la herramienta Cerca, que modifica la entrada, Generar tabla de cercanía escribe los resultados en una tabla independiente nueva y permite la búsqueda de más de una entidad próxima

⁴⁹ Devuelve el valor de la primera fila de una tabla para el campo especificado

resultado del arco cuya tangente es la relación anterior, pasada a grados sexagesimales [$\text{atan}(h/\text{dist}) \cdot (180/\pi)$], el campo “fenómeno” al que se le inserta el texto “BLOQUE” el cual servirá para posteriormente aplicar la extrusión y convertirlo en un sólido 3D y finalmente, el atributo “cubiertas” en el que se le inserta el texto “Cuatro aguas”.

Se trata en definitiva de construir un sólido 3D mediante la ejecución del geoproceso “Entidades de reglas de City Engine” que conformará la zona de sombra de la pantalla acústica y que se podría asemejar a un edificio cuya altura es la altura h de la pantalla que tiene una cubierta a cuatro aguas cuya pendiente o inclinación viene definida por la relación entre la altura del edificio y la distancia desde el eje de la carretera. La clase de entidad o capa obtenida se denomina “Envolvente_edificos”. Ver Figura 170. Captura “Zona de sombra 3D” calculada. Fuente: Elaboración propia

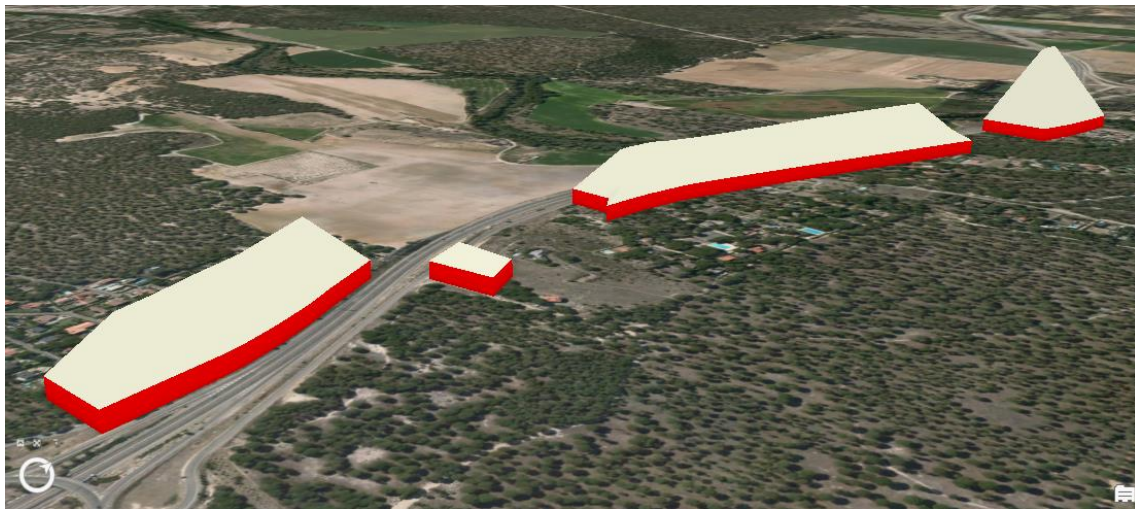


Figura 170. Captura “Zona de sombra 3D” calculada. Fuente: Elaboración propia

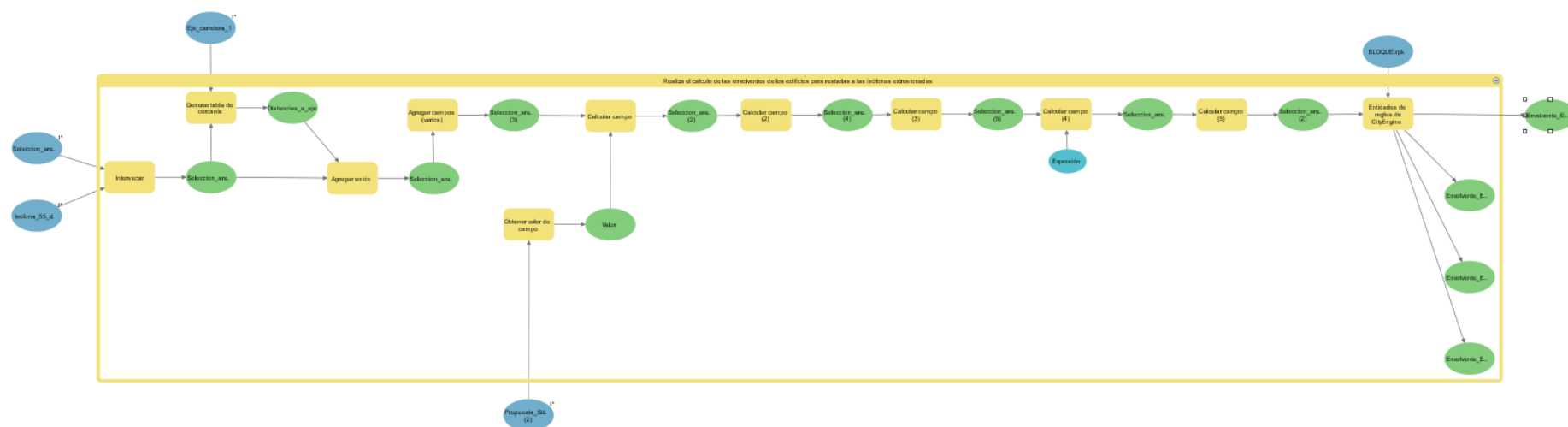


Figura 171. Herramienta “Envolverte Edificios 3D. Detallada. Fuente: Elaboración Propia

Apéndice XII. Herramienta. Isófonas Finales 3D

Mediante el diseño de esta herramienta se obtiene el resultado final de las isófonas en 3D mediante la resta o sustracción de la zona de sombra o “envolvente edificios” a las isófonas iniciales calculadas, todo ello entiéndase en 3D.

A partir de la capa “Envolvente_edificios”, se utiliza el geoproceso “Incluir multiparache” para obtener la cobertura exterior de la zona de sombra producida por la pantalla acústica y que junto con las distintas capas que contienen las isófonas iniciales 3D obtenidas en la Etapa 2 “Calculo de isófonas iniciales 2D y 3D de la Apéndice V. Herramienta. Cálculos 2D son los datos de entrada de la aplicación del geoproceso “Diferencia 3D”⁵⁰ a cada una de las isófonas iniciales 3D calculadas, obteniendo las capas denominadas “Isófona_extrusionada_final_75dB”, “Isófona_extrusionada_final_70dB”, “Isófona_extrusionada_final_65dB”, “Isófona_extrusionada_final_60dB” e “Isófona_extrusionada_final_55dB”. Ver Figura 172. Herramienta Isófonas Finales 3D. Fuente: Elaboración propia.



Figura 172. Herramienta Isófonas Finales 3D. Fuente: Elaboración propia

⁵⁰ Elimina las partes de las entidades multiparache en una clase de entidad de destino que se superpone con los volúmenes adjuntos de las entidades multiparache en la clase de entidad de sustracción.

Apéndice XIII. Herramienta. Aplicación de simbología

Finalizados todos los cálculos, obtenidos los sólidos 3D de los elementos que constituirán la escena final de todo el proceso se hace necesario la asignación de simbología, para una mejor comprensión se desarrolla esta primera herramienta para la asignación de la misma a las entidades 2D. Ver Figura 173. Herramienta Aplicación de simbología. Fuente: Elaboración propia

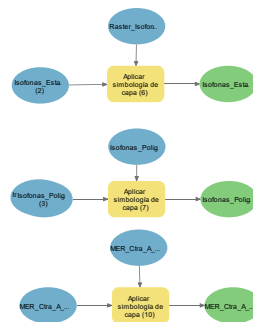


Figura 173. Herramienta Aplicación de simbología. Fuente: Elaboración propia

Así mismo, también se asigna simbología a las capas calculadas en 2D “Isófonas Iniciales” (Ver Figura 174. Escena final. Isófonas Iniciales) e “Isófonas Finales” (Ver Figura 175. Escena final. Isófonas Finales).

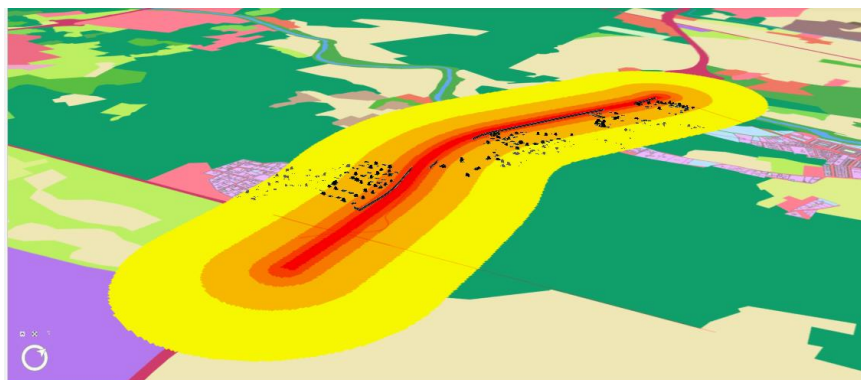


Figura 174. Escena final. Isófonas Iniciales

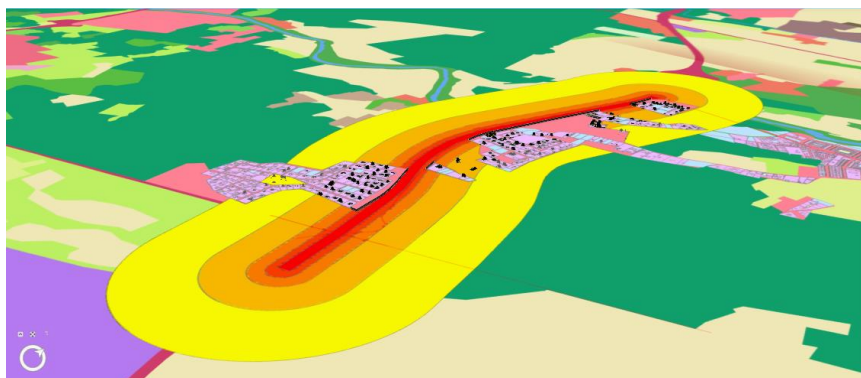


Figura 175. Escena final. Isófonas Finales

Apéndice XIV. Herramienta. Aplicación de simbología Edificios Nivel Sonoro Atenuado y Soportado

Con esta herramienta, se agregan los parámetros principales que definen cada una de las capas que componen la escena 3D, así como la simbología necesaria. Ver Figura 176. Herramienta Aplicación de simbología edificios nivel sonoro atenuado y soportado. Fuente: Elaboración propia

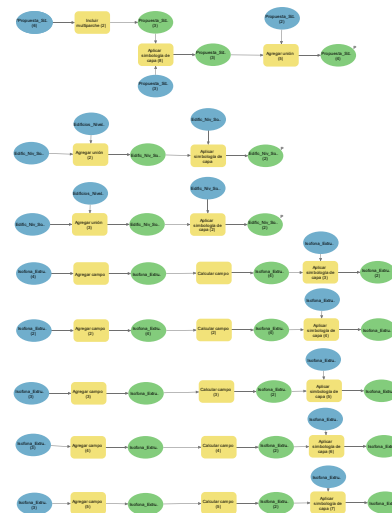


Figura 176. Herramienta Aplicación de simbología edificios nivel sonoro atenuado y soportado. Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, mediante el geoproceto “Incluir multiparache” se genera la cubierta exterior de la capa “Propuesta_Situacion_Pantalla_Extrusionada” a la que con el geoproceto “Aplicar simbología de capa” se le asignará color a la entidad obteniendo de esta forma la entidad “Propuesta_situacion_pantalla”. Ver Figura 177. Escena final 3D. Propuesta Situación de pantalla. En la clase de entidad o capa denominada “Propuesta_Situacion_Pantalla” se ejecuta el geoproceto “Agregar unión” con el objeto de insertar en la capa los atributos que se encuentran dentro de la capa “Propuesta_Situacion_Pantalla_1.

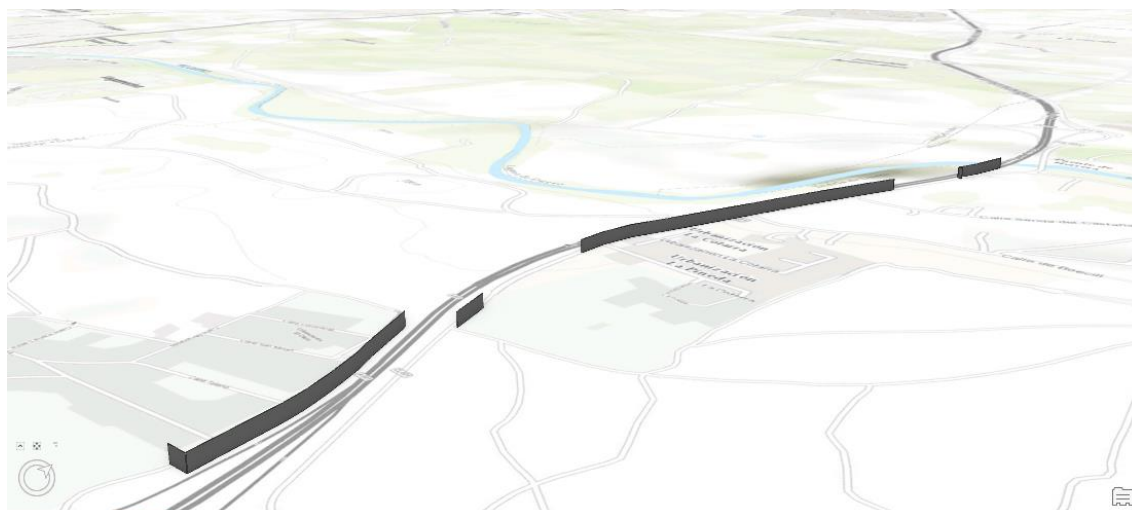


Figura 177. Escena final 3D. Propuesta Situación de pantalla

Mediante el mismo geoproceso “Aplicar simbología de capa”, se asigna a cada una de las distintas isófonas finales 3D obtenidas en la Herramienta. Isófonas Finales 3D, los colores que definirán el nivel sonoro que representan. Ver Figura 178, Figura 179, Figura 180, Figura 181 y Figura 182.



Figura 178. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 75 dB



Figura 179. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 70 dB



Figura 180. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 65 dB



Figura 181. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 60 dB



Figura 182. Escena 3D. Isófona 3D que representa el nivel sonoro de 55 dB

A las capas obtenidas de cada una de las isófonas finales en 3D y en las que se ha aplicado la simbología, se les añade un nuevo campo mediante el geoproceso “Agregar campo”, en el que se insertará el valor en dB de la isófona a la que representa.

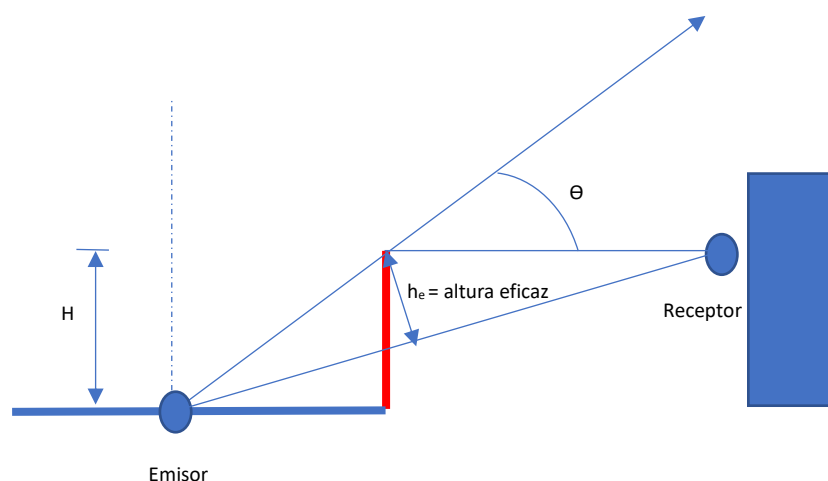
Por último, a las capas de los edificios 3D obtenidas en la Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Inicial y en la Herramienta. Edificios 3D. Nivel Ruido Atenuado, se les aplicará el geoproceso “Agregar unión” con el que se añadirán los atributos existentes en las capas “Edificios_Nivel_Sonoro_Inicial ” y “Edificios_Nivel_Sonoro_Atenuado”, para después una “Aplicar simbología de capa” que represente los edificios según su nivel sonoro en dB soportado y atenuado respectivamente.

Apéndice XV. Método Simple de la Guide Du Bruit

Es un método que permite la realización de un predimensionamiento o aproximación de la altura de una pantalla acústica de entre 2 y 6 m, teniendo en cuenta que solamente debe aplicarse en el caso de que la ubicación de la pantalla acústica esté próxima a la carretera. Este método nos permite tener una idea del orden de magnitud de la eficacia de la pantalla acústica, o la realización de un predimensionamiento según una eficacia dada.

El cálculo se realiza en dos fases, una primera en la que se obtiene la altura eficaz de la pantalla acústica y una segunda en la que se calcula la longitud de la misma.

La parte inferior del ábaco permite la entrada de los distintos parámetros según el siguiente esquema.



En una primera fase, se calcula la atenuación de una pantalla suponiendo que esta es de altura determinada y longitud infinita mediante el ábaco representado en la Figura 183. Ábacos de difracción de una pantalla de longitud infinita del CSTB (Centre Scientifique et Techniques du Bâtiment).

Como se puede observar a modo de ejemplo entrando en la parte inferior del ábaco para una altura eficaz de pantalla acústica de aproximadamente 2,30 m y un ángulo ϕ de 5°, le corresponde una eficacia de la pantalla en dbA para una fuente lineal

de circulación de 10,2 dBA aproximadamente. Ver Figura 183. Ábacos de difracción de una pantalla de longitud infinita del CSTB (Centre Scientifique el Techniques du Bâtiment)

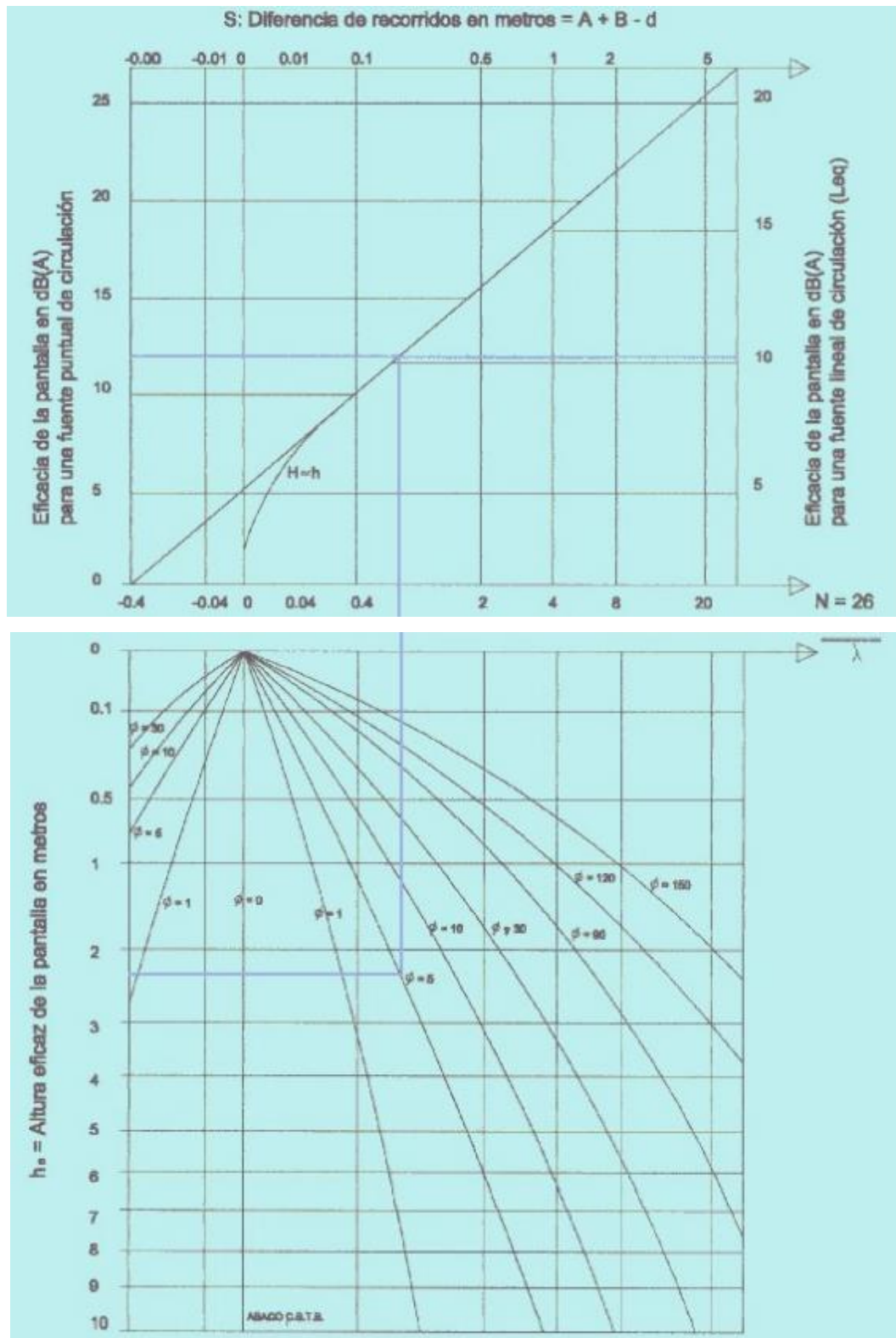


Figura 183. Ábacos de difracción de una pantalla de longitud infinita del CSTB (Centre Scientifique el Techniques du Bâtiment)

No hay que olvidar que la atenuación obtenida es para una pantalla de longitud infinita y se necesita buscar una longitud de una pantalla. Este método considera que el nivel sonoro que se alcanza en el punto donde se sitúa el receptor es la suma energética de los niveles correspondientes a tres segmentos de la fuente lineal, de los cuales dos de ellos corresponden a una propagación directa del ruido a ambos lados de la pantalla y un segmento que correspondería a la zona de protección de la propia pantalla cómo se puede observar en la Figura 184. Esquema de protección de pantalla acústica

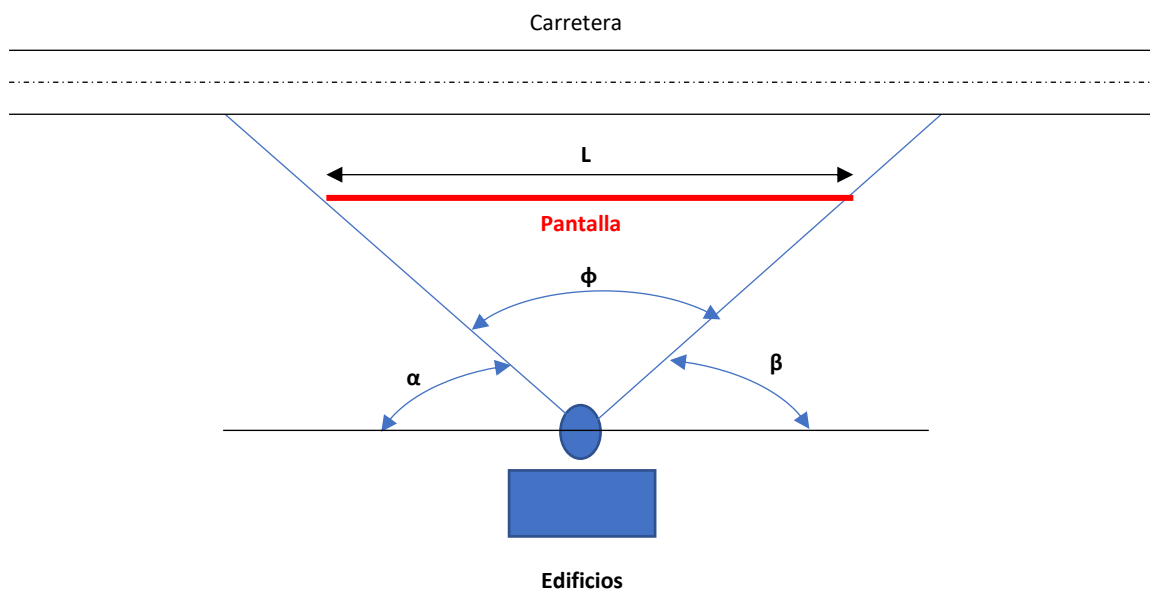


Figura 184. Esquema de protección de pantalla acústica. Fuente: Elaboración propia

En una segunda fase se calculan los niveles sonoros correspondientes a los segmentos laterales la podemos calcular a partir de la expresión,

$$L(\alpha + \beta) = L_d + 10 \log\left(\frac{(\alpha + \beta)}{180}\right)$$

Ecuación 13. Cálculo de energía de los segmentos laterales. Método simple de la Guide du Bruit

Donde L_d , es el nivel sonoro producido por la fuente a la distancia d a la que está situada la fuente emisora y siendo α y β los ángulos de recepción directa.

La energía correspondiente a la zona protegida por la pantalla se calcula mediante la siguiente expresión,

$$L(\varphi) = L(\alpha + \beta) + 10 \log\left(\frac{\varphi}{180}\right) - \text{Atenuación (infinita, 1ª fase)}$$

Ecuación 14. Cálculo de energía de la zona protegida por la pantalla

Siendo ϕ el ángulo de cobertura de la propia pantalla y la atenuación expresada en db(A), resultante de la aplicación de la fase 1 con el ábaco representado en la Figura 183. Ábacos de difracción de una pantalla de longitud infinita del CSTB (Centre Scientifique el Techniques du Bâtiment).

En nivel sonoro resultante como consecuencia de una pantalla de longitud finita será suma energética⁵¹ de los resultados obtenidos en la Ecuación 13. Cálculo de energía de los segmentos laterales. Método simple de la Guide du Bruit y la Ecuación 14. Cálculo de energía de la zona protegida por la pantalla, obteniendo,

$$L = L(\alpha + \beta) \oplus L(\varphi)$$

Ecuación 15. Nivel Sonoro de una pantalla de longitud finita

Dado que $\alpha + \beta = 180 - \varphi$, conociendo el nivel sonoro deseado en el receptor y la atenuación proporcionada por la pantalla infinita, se puede obtener el valor de ϕ y por ende la longitud de la pantalla.

⁵¹ Para la realización de suma energética se puede utilizar la herramienta existente en <https://www.cesva.com/es/soporte/db-calculator/>